

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2014

Bc. Ladislav Novosád

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY

Využití biomasy jako akumulární zdroj energie
pro tepelné a elektrické sítě

Biomass utilization for storage energy in
distribution network

2014

Bc. Ladislav Novosád

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ladislav Novosád**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: **Využití biomasy jako akumulací zdroj energie pro tepelné a elektrické sítě**
Biomass utilization for storage energy in distribution network

Zásady pro vypracování:

1. Technologie zpracování biomasy, bioplynová stanice
2. Kogenerační jednotka, možnosti řízení výstupní tepelné a elektrické energie
3. Vliv proměnlivého výkonu větrných a solárních elektráren na distribuční sítě
4. Využití vyrobené energie z biomasy pro akumulaci v distribučních sítích

Seznam doporučené odborné literatury:

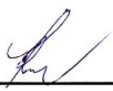
1. MASTNÝ, Petr a kol. Obnovitelné zdroje elektrické energie. ČVUT Praha 2011
2. JANÍČEK, František a kol. Obnovitelné zdroje energie 2. Bratislava 2010

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Zdeněk Hradílek, DrSc.**

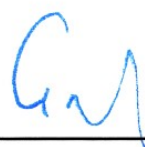
Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 6. května 2014



.....

Bc. Ladislav Novosád

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Prof. Ing. Zdeňku Hradílkovi, DrSc. a dále také konzultantovi panu Ing. Jiřímu Janšovi, za jejich odbornou pomoc, cenné rady a připomínky při zpracovávání této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou biomasy a bioplynových stanic. V teoretické části práce je uvedeno, co je to biomasa, popsán její vznik a také možnosti, jakými ji lze využít k energetickým účelům. Je zde také podrobně popsána technologie bioplynových stanic a také vznik a složení bioplynu. Dále jsou zde uvedeny informace o principu kogenerace a kogenerační jednotky, o základních typech, rozdělení a základních technických parametrech kogeneračních jednotek. Součástí této práce je i objasnění problematického vlivu fotovoltaických a větrných elektráren na distribuční síť. V praktické části diplomové práce je proveden popis bioplynové stanice Loděnice a také provedena analýza naměřených dat z této stanice.

Klíčové slova:

Biomasa, bioplynová stanice, bioplyn, kogenerační jednotka, kogenerace, negativní vlivy obnovitelných zdrojů.

Abstract

This diploma thesis deals with the issues of biomass and biogas plants. The theoretical part of the thesis focuses on biomass, its formation and the ways of its use for energy purposes. Biogas plants technology and the formation and composition of biogas are described in detail. Furthermore, we present information on the principle of cogeneration and cogeneration units, basic types, distribution and basic technical parameters of cogeneration units. Part of this work is the clarification of problematic influence of solar and wind power to the distribution network. The practical part of the thesis describes the biogas station Loděnice and analysis of measured data from this station.

Key Words:

Biomass, biogas station, biogas, cogeneration unit, cogeneration, negative effect of renewable sources.

Seznam použitých symbolů a zkratek

BPS	Bioplynová stanice
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
DS	Distribuční soustava
DDZ	Denní diagram zatížení
ES	Elektrizační soustava
ERU	Energetický regulační úřad
FVE	Fotovoltaická (sluneční) elektrárna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
KGJ	Kogenerační jednotka
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
NN	Nízké napětí
ORC	Organický Rankinův cyklus
OZE	Obnovitelný zdroj energie
PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav
PS	Přenosová soustava
SNG	Syntetický zemní plyn (Synthetic Natural Gas)
VTE	Větrná elektrárna
VN	Vysoké napětí

Obsah

1. Úvod	1
2. Technologie zpracování biomasy, bioplynová stanice	2
2.1. Biomasa	2
2.1.1. Biomasa pro energetické účely	4
2.1.2. Možnosti využití biomasy k energetickým účelům	5
2.2. Bioplyn.....	14
2.2.1. Využití bioplynu	15
2.3. Bioplynové stanice.....	16
2.3.1. Zemědělské bioplynové stanice	16
2.3.2. Bioplynová stanice v čističkách odpadních vod	21
2.3.3. Bioplynová stanice využívající skládkový plyn	21
3. Kogenerační jednotka, možnosti řízení výstupní tepelné a elektrické energie	22
3.1. Kogenerační systémy	22
3.1.1. Druhy kogeneračních systémů	22
3.1.2. Možnosti využití kogeneračních systémů	23
3.1.3. Konstrukční uspořádání kogeneračních systémů	24
3.2. Pohon kogeneračních jednotek	25
3.3. Kogenerační jednotky v bioplynových stanicích	26
3.3.1. Plynové spalovací motory	27
3.4. Možnosti řízení výstupní tepelné a elektrické energie.....	28
3.4.1. Dispečerské řízení provozu bioplynových stanic	28
3.4.2. Řízení a regulace provozu kogeneračních jednotek	29
3.5. Výhody a nevýhody kogeneračních jednotek	31
4. Vliv proměnlivého výkonu větrných a solárních elektráren na distribuční síť..	32
4.1. Centralizovaná a rozptýlená výroba elektrické energie	32
4.2. Rovnováha zdrojů a stávající stav distribuční sítě v ČR	33
4.3. Negativní vliv OZE na výkonovou bilanci sítě	34
4.4. Zpětné vlivy větrných a solárních elektráren na DS	35
4.4.1. Zpětné vlivy větrných elektráren na DS	35
4.4.2. Zpětné vlivy solárních elektráren na distribuční síť	36
4.4.3. Vliv OZE na kvalitu elektrické energie	37

5. Využití vyrobené energie z biomasy pro akumulaci v elektrických sítích.....	39
5.1. Aktuální stav bioplynových stanic v ČR	39
5.2. Možnosti využití akumulované energie z biomasy v distribučních sítích	41
5.2.1. Využití BPS pro regulaci dodávky výkonu z OZE (FVE a VTE)	42
5.2.2. Využití BPS k regulaci a k poskytování podpůrných služeb.....	42
5.2.3. Využití BPS k výrobě biometanu a jeho následné vtláčení do sítě zemního plynu	43
5.3. Analýza provozu BPS	44
5.3.1. Popis bioplynové stanice ZD Hraničář Loděnice	44
5.3.2. Technologie bioplynové stanice:	44
5.3.3. Měření na kogeneračních jednotkách BPS ZD Hraničář Loděnice	46
5.3.4. Zhodnocení výsledků měření	58
Závěr	61
Seznam použité literatury	62
Seznam obrázků	65
Seznam grafů.....	66
Seznam tabulek	66
Seznam příloh.....	67

1. Úvod

Využívání elektrické a tepelné energie je v dnešní době běžnou a téměř nenahraditelnou součástí lidského života. Spotřeba energií stále narůstá a i do budoucna je předpokládán její strmý vzestup. Získávání elektrické a tepelné energie je přitom dnes stále velmi závislé na využívání fosilních paliv, jejichž zásoby se zmenšují a jejich těžba je také čím dál víc nákladnější a s tím roste i cena těchto paliv. Z tohoto důvodu, ale i z hlediska ochrany životního prostředí, je v současné době stále více podporována výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Obnovitelné zdroje jsou nevyčerpatelné zdroje elektrické energie, za které lze považovat energii sluneční, energii větrnou, vodní, rostlinnou a geotermální. Jednou z velkých výhod obnovitelných zdrojů je, že neznečišťují životní prostředí.

V současné době je stále více podporována výroba elektrické energie právě z obnovitelných zdrojů formou různých dotací a legislativními nařízeními. Na tuto podporu u nás velice rychle zareagoval i trh s bioplynem, kdy během několika málo let vzrostl počet bioplynových stanic z několika málo provozů na více než 500 stanic s celkovým instalovaným výkonem větším než 390 MW (k 1.1.2014). Podle odhadů se budou tato čísla i v budoucnu ještě dále zvyšovat. Potenciál akumulace energie v bioplynu je tedy zřejmý.

Bioplynové stanice bývají projektovány na trvalý provoz a jejich výkony odpovídají množství produkovaného bioplynu. U většiny bioplynových stanic je bioplyn využíván spalováním v moderních kogeneračních jednotkách, jejichž výstupem je elektrická energie dodávaná do distribuční sítě nebo pro vlastní spotřebu a teplo získávané chlazením motoru a dochlazováním výfukových spalin.

Cílem této práce je tedy shrnout a popsat proces zpracování biomasy a její následné využití pro energetické účely, zejména tedy pro výrobu bioplynu v bioplynových stanicích. Dále popsat možnosti využití bioplynu pro účely kogenerace a také popsat základní principy fungování kogenerace a popis jednotlivých kogeneračních technologií.

Součástí této práce je i kapitola, která pojednává o vlivu OZE, zejména tedy větrných a fotovoltaických elektráren, na provoz elektrizační soustavy a kvalitu dodávky elektrické energie. V této kapitole je poté nastíněna problematika připojování a vliv proměnlivého výkonu z těchto zdrojů elektrické energie na distribuční síť.

Poslední kapitola této práce řeší možnosti využití vyrobené energie z biomasy pro akumulaci v distribučních sítích. Součástí této kapitoly je i praktická část, ve které je proveden popis zemědělské bioplynové stanice Loděnice a následně také provedeno zhodnocení měření, které bylo na této stanici provedeno.

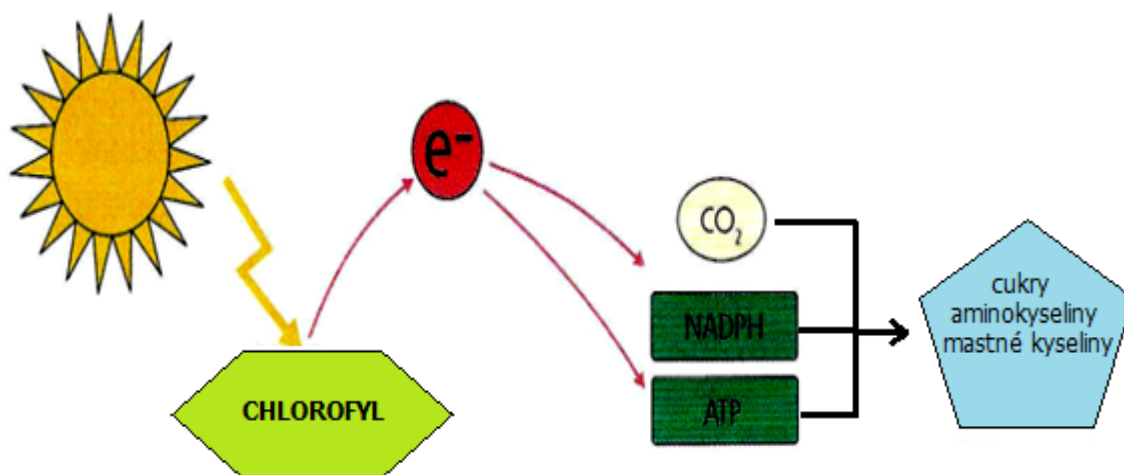
2. Technologie zpracování biomasy, bioplynová stanice

V následujících kapitolách této práce budou tedy podrobně popsány možnosti zpracování biomasy, tvorba a vlastnosti bioplynu a také základní funkce bioplynové stanice.

2.1. Biomasa

Za biomasu lze v širokém slova smyslu označit veškerou hmotu biologického původu nacházející se na planetě Zemi. Biomasu lze zjednodušeně popsat jako přeměněnou sluneční energii, která je prostřednictvím rostlin zachycena a uložena ve formě chemické energie. Jedná se tedy o materiál biologického původu, nefosilního charakteru, který pochází zejména z pěstování rostlin, chovu živočichů, zbytků produkce organického původu a jiných organických odpadů.

Základním principem vzniku biomasy je záchyt slunečního záření a jeho následné využití k endotermické reakci, kterou nazýváme fotosyntézou. Při fotosyntéze vzniká jednoduchý cukr, který se následně pomocí dalších nesčetných reakcí, mění na složitější škroby, cukry a další látky, které se poté v tělech živočichů a rostlin mění na další chemické sloučeniny.



Obr. č.2.1. Schéma procesu fotosyntézy [5]

Z hlediska vzniku biomasy, ji lze tedy považovat za obnovitelný zdroj energie. Mezi jednu z největších výhod biomasy patří minimální vliv na množství CO_2 v ovzduší, jelikož při jejím spalování resp. využívání pro energetické účely se předpokládá, že během svého růstu, biomasa pohltí právě tolik CO_2 , kolik ho následně při zpracování a spálení vypustí zpět do prostředí. Dalšími přednostmi biomasy jsou především vysoký energetický potenciál, centralizovaná výroba energií, zpracování a likvidace odpadů, které mohou být v nezpracované podobě toxické. Velkou výhodou při využití biomasy k energetickým účelům představuje také možnost řízení a predikce výroby energie v širokém časovém měřítku, na rozdíl od ostatních obnovitelných zdrojů, které buď neumožňují řízení energie vůbec, což znamená, že jsou zcela závislé na podmínkách počasí, nebo jsou regulovatelné jen ve velmi omezené míře. V celosvětovém měřítku je proto do biomasy určené k energetickým účelům vkládána velká naděje, že se stane alternativním obnovitelným

energetickým zdrojem. V budoucnu je předpokládáno, že biomasa nahradí podstatnou část mizejících klasických zdrojů elektrické energie, mezi které patří například uhlí, ropa a zemní plyn. [1,2]

Biomasa využívaná k energetickým účelům je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo jde o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské výroby, lesní výroby, průmyslové výroby, z komunálního hospodářství, z údržby a péče o krajinu. Z hlediska energetického využití se biomasa v ČR dělí podle vyhlášky MŽP ČR č. 482/2005 Sb. na zemědělskou, lesní a zbytkovou.

Využití biomasy k energetickým účelům je ovšem limitováno některými negativními vlastnostmi a důsledky produkce biomasy, mezi které patří zejména:

- produkce biomasy pro energetické účely na orné půdě konkuruje dalším způsobům využití biomasy (např. potravinářské, krmné, průmyslové účely atd.)
- zajištění dostatečného množství energetické biomasy vyžaduje zvyšování intenzity výroby nebo rozšiřování produkční plochy, a to vede ke zvyšování potřebných investic
- výroba energie z biomasy v současných ekonomických podmínkách s obtížemi konkuruje výrobě energie z klasických energetických zdrojů (např. uhlí)
- maximální využití biomasy k energetickým účelům je problematické z hlediska rozmístění zdrojů biomasy a spotřebičů energie, vzhledem k možnostem akumulace transportu a distribuce získané energie



Obr. č.2.2. Příklady různých druhů biomasy [10]

2.1.1. Biomasa pro energetické účely

Biomasu, kterou lze využít pro energetické účely rozdělujeme do několika základních kategorií:

1. fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy
2. fytomasa olejnatých plodin
3. fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru
4. organické odpady živočišného původu
5. směsi různých organických odpadů

Druhy biomasy pro energetické účely

Z technologického hlediska existují dvě základní skupiny zdrojů energetické biomasy:

2.1.1.1. Biomasa záměrně vyprodukovaná k energetickým účelům

Tato skupina zahrnuje veškeré plodiny, které jsou pěstovány záměrně pro energetickou produkci, tzv. energetické plodiny. Tyto plodiny mohou být pěstovány na nepotřebné zemědělské půdě nebo na tzv. antropogenních půdách (rekultivované plochy v průmyslových oblastech a rekultivované skládky). Je vhodné pěstovat hlavně takové rostliny, které produkují velké množství biomasy. Jsou to tzv. rychle rostoucí rostliny, mezi které například patří jednoleté nebo vytrvalé, tj. energetické dřeviny.

Rozdělení energetických plodin:

- *Energetické plodiny ligno-celulózové*
 - dřeviny (vrby, olše, topoly, akáty, platany, atd.)
 - obiloviny (ozimé žito, triticales - celé rostliny)
 - travní porosty (sloní tráva, Ozdobnice čínská, Lesknice rákosovitá, Kostřava rákosovitá, Psineček bílý, Ovsík vyvýšený a další trvalé travní porosty)
 - ostatní rostliny (Konopí seté, Čiroky, Laskavec, krmný sléz, Komonice bílá, Jestřabina východní, Topinambur hlíznatý, Mužák prorostlý, Šťovík krmný, Bělotrn kulatohlavý, Boryt barvířský, Topolovka růžová)
- *Energetické plodiny olejnaté* (řepka olejka, len, slunečnice, dýně na semeno)
- *Energetické plodiny škrobnato-cukernaté* (brambory, cukrová řepa, obilí – zrna, kukuřice, cukrová třtina)

Tyto typy rostlin v sobě skrývají velký energetický potenciál, ale současně s sebou také přinášejí i velká ekonomická a ekologická rizika. Výhodné pěstování konkrétního druhu je závislé na způsobu a účelu využití, na druhu půdy, na možnosti sklizně a dopravy nebo na druhové skladbě v okolí. Nahrazení různých druhů běžně pěstovaných plodin na velké ploše jednou z energetických plodin může mít negativní vliv na celý ekosystém dané oblasti.[5]

2.1.1.2. Odpadní biomasa

Další skupinou biomasy podle základního kritéria dělení je biomasa odpadní. Jedná se hlavně o odpady ze zemědělské a průmyslové výroby a z lesního hospodářství. Tyto zdroje odpadní biomasy lze poté dále rozdělit na :

Rostlinné zbytky ze zemědělské a živočišné výroby a údržby krajiny

Rostlinné zbytky ze zemědělské výroby představují výhodný energetický zdroj. Patří sem zejména řepková, obilná a kukuřičná sláma, ale také zbytky krmiv a exkrementy různých zvířat. Poměrně vysokou výhřevnost mají také některé odpady ze zemědělské výroby, jako například bramborová nat', chrást cukrové řepy nebo sláma sušenin. Pro energetické účely se v současné době také rozšiřuje možnost uplatnění travní fytomasy, která vzniká při úpravě a údržbě krajiny a také odpady z parků a zahrad.

Organické odpady z potravinářských a průmyslových výrobn

Jako odpadní biomasa se využívají hlavně odpady z provozů na skladování a zpracování rostlinné produkce, mlékáren, odpady z jatek, lihovarů, konzerváren, cukrovarů, z vinařských provozů, odpady ze stravovacích provozů nebo odpady z dřevařských provozů – odřezky, piliny, hobliny, odpady z papíren.

Odpady z lesního hospodářství

Jedná se v podstatě o dřevní hmotu, což je nejrozšířenější materiál v podmínkách střední Evropy s vysokým energetickým potenciálem. Po probírkách, těžbě dříví a prořezávkách zůstává v lese určitá část stromové hmoty nevyužitá (větve, vršky stromů, kořeny, kůra, pařezy, dendromasa z prvních probírek a prořezávek, šišky). Dále se také jedná o dopad vzniklý při zpracování dřeva. [1,2,3]

2.1.2. Možnosti využití biomasy k energetickým účelům

Jakým způsobem budeme biomasu využívat, závisí na mnoha faktorech, mezi které patří druh a forma biomasy. Jako příklad můžeme použít kusové dřevo, které je vhodné ve formě naštipaných polen použít pro topení v kotli rodinného domu, ale pro pohon generátorů je nepraktické. Mezi další faktory patří také lokální dostupnost biomasy, jelikož ve většině případů dochází na rozdíl od různých fosilních paliv k lokálnímu zpracování biomasy. To tedy znamená,

že biomasa se obvykle zpracovává a využívá k získávání energie v blízkosti místa, kde obvykle vznikla nebo byla cíleně vyprodukována. Důležité jsou také náklady na získávání biomasy. Tyto náklady se poté podílejí velkou měrou na konečné ceně biomasy. Biomasa a fosilní paliva spolu zpravidla soutěží o stejný trh. Zda se biomasa uplatní a nahradí alespoň z části používaná fosilní paliva, závisí do značné míry na tom, zda je biomasa ekonomicky kompetitivní.

A v neposlední řadě také vliv využívání biomasy na životní prostředí. To že je biomasa přírodní a obnovitelný produkt ještě neznamena, že při jejím využívání nemůže dojít k nežádoucím vlivům na životní prostředí. Například pokud spalujeme dřevo v běžných kachlových kamnech či krbech, pak je v kouři obsažena celá řada škodlivých látek podobně jako při topení uhlím. Teoreticky je možné předpokládat, že stejné množství oxidu uhličitého, které rostliny uložili z atmosféry do biomasy, je při spalování opět do atmosféry uvolněno. V praxi to ovšem zcela neplatí, jelikož při pěstování biomasy využíváme různá hnojiva a pesticidy a při sklizni stroje, které jsou poháněné naftou, nebo elektrickou energií, takže do procesu vstupuje i jistý podíl fosilních paliv.

Způsob využití biomasy k energetickým účelům je dán také jejími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Mezi nejdůležitější parametr určující kvalitu a možnosti využití konkrétního druhu biomasy je vlhkost. Tato vlhkost je charakterizována obsahem sušiny v biomase. Hranice, která rozděluje využití biomasy k suchým nebo mokrým procesům je přibližně 50% obsahu sušiny v biomase, kdy pro suché procesy musí být obsah sušiny v biomase větší než 50% a pro mokré procesy naopak menší než 50%.

K samotnému zpracování biomasy se poté využívá celé řady mechanických a chemických procesů, jejichž cílem je vyrobit z biomasy nový druh paliva nebo ji přímo přeměnit v tepelnou energii. Tato tepelná energie může být následně dále transformována v jiné formy energie. V následujícím seznamu je uveden přehled několika nejvýznamnějších procesů zpracování a využití biomasy:

1. Suché procesy – termochemická přeměna biomasy

- spalování
- zplyňování
- pyrolýza
- karbonizace

2. Mokrý procesy – biochemická přeměna biomasy

- alkoholové kvašení
- metanolové kvašení

3. Fyzikální a chemická přeměna biomasy

- mechanicky (štípání, drcení, lisování, peletování)
- chemicky (esterifikace surových bioolejů)

4. Získávání odpadního tepla při zpracování biomasy

- kompostování
- aerobní čištění odpadních vod
- anaerobní fermentace pevných organických odpadů

V následující tabulce (Tab. č.1.) jsou zobrazeny některé nejčastěji využívané metody pro zpracování biomasy, je zde také uveden druh technologického postupu, získaný výstupní energetický prvek a také druhotná surovina neboli odpad. Mezi nejrozšířenější způsob z níže uvedených možností potom patří anaerobní digesce (anaerobní fermentace), jejímž výstupním prvkem je bioplyn, který je následně spalován v kogeneračních jednotkách.

Tab. č.1. Způsob využití biomasy k energetickým účelům [1]

Konverze biomasy	Technologický postup	Energetický výstup	Druhotná surovina (odpad)
Termochemická konverze	pyrolýza	generátorový plyn	pyrolýzní olej, koks (uhlíkaté palivo)
	zplyňování	generátorový plyn	dehtový olej, pevné hořlavé zbytky
	spalování	topné médium	popel
	plazmové spalování	syngas	popelovina
Biochemická konverze	anaerobní digesce (fermentace)	bioplyn	digestát
	aerobní fermentace	teplo vázané na nosič	kompost
	alkoholová fermentace	biolíh	fermentovaný substrát (výpalky)
Fyzikálně-chemická konverze	lisování	rostlinný olej	pokrutiny
	esterifikace bioolejů	metylester biooleje	glycerin

2.1.2.1. Spalování biomasy

Spalování biomasy patří k úplně nejstarším způsobům využití tohoto energetického zdroje. Jedná se o termochemickou konverzi biomasy. Jako palivo pro spalovací proces je možné využít téměř jakýkoliv biomateriál. Musí být ovšem splněny některé požadavky, mezi které například patří míra vlhkosti, vhodná velikost a forma a v neposlední řadě také odpovídající zařízení pro spalování. Nejčastěji se můžeme setkat se spalováním dřeva a odpadů vzniklých při zpracování dřeva, dále také spalování slámy, pícnin, obilovin, rostlinných zbytků ze zemědělské výroby, organického odpadu a komunálního odpadu. Dále je také možné využít olejnatých plodin jako je řepka nebo slunečnice.

Samotný spalovací proces lze rozdělit do čtyř fází : [1,2,3]

1. **Fáze – sušení:** v materiálu se postupně snižuje obsah vody a začne se zahřívat
2. **Fáze – pyrolýza:** po dosažení určité zápalné teploty a při dostatečném přísunu kyslíku dochází k uvolňování spalného tepla a materiál se postupně rozkládá na hořlavé plyny, destilační produkty a zuhelnatělý zbytek. Tento proces probíhá samovolně, není-li materiál příliš vlhký a uvolňuje-li současně dostatečné množství spalného tepla.
3. **Fáze – spalování plynné složky:** hoření plynných složek prodlužuje plamen a zvyšuje teplotu plynných spalin
4. **Fáze – spalování pevných látek:** při dostatečném přísunu kyslíku dohořívají pevné látky na roštu, přičemž se vytváří oxid uhelnatý (CO), který následně dále oxiduje na oxid uhličitý (CO₂).

2.1.2.1.1. Spoluspalování biomasy

Kromě možnosti spalování biomasy v lokálních topeništích je dalším velmi častým způsobem využití biomasy pro energetické účely spoluspalování biomasy s dalším typem fosilního paliva a to zejména v parních kotlích. Nejjednodušší a také nejlevnější variantou je spolužalování společně s uhlím, které probíhá ve velkých elektrárenských kotlích fluidního (nejčastější) nebo roštového typu. Fluidní kotle jsou výhodné díky tomu, že je možné v nich spalovat i méně kvalitní biomasu, např. biomasu s vyšší vlhkostí. Podíl této biomasy k uhlí je ovšem omezen přibližně na 20% při spalování v neupravených kotlích. Běžně se v České republice pohybuje podíl spalování biomasy v některých elektrárnách v rozmezí 5-20%. [5,2]

Použití biomasy v kombinaci s uhlím má na toto palivo příznivé vlastnosti, mezi které patří především menší popelnatost, menší obsah síry než při samotném spalování uhlí, též nižší spékavost popele a malý obsah dioxinů ve spalinách (biomasu je nutné ponechat delší dobu při teplotě kolem 900 °C, což je splněno ve fluidních kotlích). [5,2]

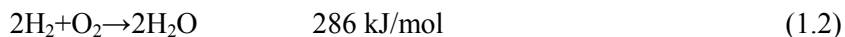
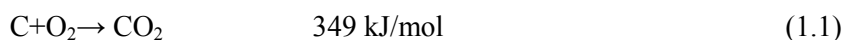
V České republice se spoluspalování, nebo čistě jenom spalování biomasy využívá například v těchto energetických výrobnách:

- elektrárna Tisová
- elektrárna Poříčí
- elektrárna Hodonín
- elektrárna Ledvice
- elektrárna ve Dvoře Královém
- teplárna v Plzni

Spoluspalování biomasy je ale také často kritizováno a to hlavně z důvodu, že při spálení biomasy se využije jen malá část energie uložené v biomase. Dalším negativním faktorem může být narušení regionálních trhů s touto surovinou, jelikož při tomto způsobu využití je potřeba velké množství biomasy. V širokém okolí kolem elektrárny tedy může nastat velká poptávka po této surovině a to má velmi nepříznivý dopad pro drobné spotřebitele.

2.1.2.1.2. Škodlivé látky vznikající při spalování biomasy

Při spalování biomasy dochází k exotermickým reakcím paliva s kyslíkem. Tyto reakce jsou popsány následujícími rovnicemi:



Při spalování tedy dochází k vzniku oxidu uhličitého, vodní páry a také dalších znečišťujících látek. Jedná se zejména o oxid uhelnatý, který vzniká nedokonalým spalováním, dále také oxidy dusíku které vznikají jednak z dusíku obsaženého ve vzduchu a také v samotné biomase. V biologickém palivu je částečně obsažena i síra, která se při spalovacím procesu podílí na vzniku oxidů síry. Koncentrace oxidů síry bývají ovšem daleko menší než při spalování například uhlí. Při spalování také vznikají pevné znečišťující částice – popel.

Jak už bylo psáno v předchozí kapitole, energetické využívání a spalování biomasy má téměř zanedbatelný vliv na produkci tzv. skleníkových plynů, protože se uvažuje, že množství oxidu uhličitého (CO_2), které se uvolní při spalování určitého objemu biomasy, bylo předtím touto biomasou akumulováno. Je ovšem nesprávné uvádět, že emisní faktor spalování biomasy je nulový, protože do vzniku biomasy musíme započítat i další složky, které jsou důležité pro tvorbu biomasy (hnojení, palivo na dopravu a obecně pro zemědělské stroje, atd.). Z hlediska Evropské Unie

je nulový emisní faktor pro výpočet CO₂ správný, ovšem z fyzikálního hlediska se emisní faktory CO₂ pohybují na hodnotách přibližně 62 – 86 kg/kJ. [2]

2.1.2.2. Karbonizace

V případě karbonizace se jedná o termickou přeměnu neboli suchou destilaci tuhé biomasy. Tato přeměna probíhá bez přístupu vzduchu a jejím hlavním výstupním produktem je dřevěné uhlí. Během karbonizace dochází k eliminaci těkavých složek, které jsou obsažené ve dřevní hmotě, a proto se také velmi často používá pojem tzv. „suchá destilace“. Při procesu suché destilace dochází v podstatě k snížení obsahu kyslíku a vodíku obsaženého ve dřevě, a současně k zvýšení koncentrace uhlíku ve výsledném produktu, kterým je již dříve zmiňované dřevěné uhlí. Dřevěné uhlí se spíše než pro energetické účely, dále používá v průmyslu při obohacování oceli uhlíkem a také jako absorbentu při filtraci kapalin a plynů. [6]

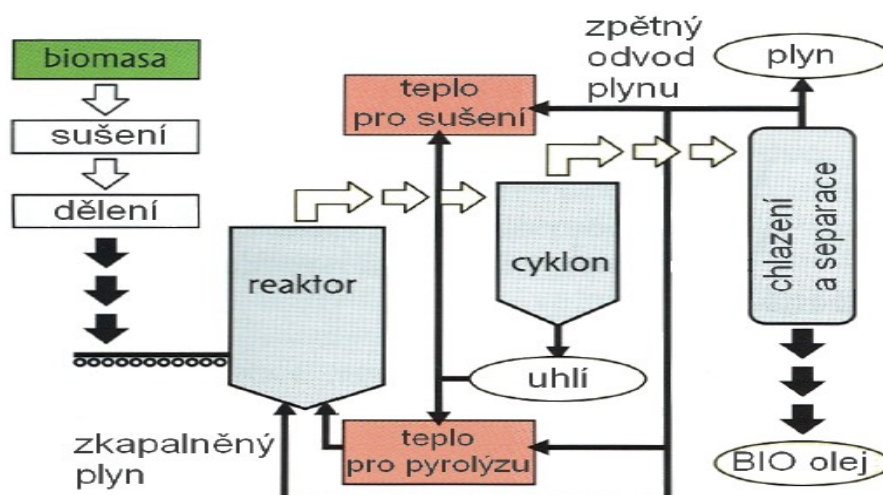
2.1.2.3. Pyrolýza

Proces pyrolýzy je v některých technických směrech dost podobný procesu karbonizace. Stejně jako karbonizace tak i pyrolýza probíhá při nedostatku kyslíku, kdy dochází k termickému rozkladu organických materiálů. Podstatou pyrolýzy tedy je ohřev materiálu nad mez termické stability přítomných organických sloučenin, což má za následek jejich štěpení až na stále nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek. Z technologického hlediska lze procesy pyrolýzy dále rozdělit podle dosahované teploty na:

- nízkoteplotní (< 500°C)
- středoteplotní (500 - 800°C)
- vysokoteplotní (> 800°C)

Výsledkem tohoto procesu je Pyrolýzní plyn, který může být dále využit jako chemická surovina nebo jako palivo pro motory nebo plynové turbíny kogeneračních jednotek.

Jedním z moderních a velmi perspektivních procesů je tzv. rychlá pyrolýza. Jedná se o technologický proces, při kterém dochází přeměna biomasy ve formě dřeva a jiných odpadních materiálů na produkty vyšší energetické úrovně. Těmito produkty mohou být například plyny, kapaliny nebo pevné látky. Procesy rychlé pyrolýzy jsou v dnešní době ve světě velmi intenzivně vyvíjeny a je na nich založena koncepce biorafinérií. Biorafinerie představují perspektivní možnost jak využít biomasu pro výrobu kapalných paliv jako je například bio-olej. Bio-olej získaný prostřednictvím rychlé pyrolýzy může být použit, po dalším čištění a úpravě, pro mobilní diesellové motory nebo přímo sloužit jako topný olej pro kotle či jako palivo pro výrobu elektřiny ve spalovacích motorech a spalovacích turbínách. [2,6]



Obr. č.2.3 Technologické schéma pyrolýzy biomasy. [2]

2.1.2.4. Zplyňování

Zplyňování představuje jednu z dalších možností jak využít energii uloženou v biomase. Jedná se opět o termochemickou přeměnu biomasy, která probíhá při vyšších teplotách za omezeného přístupu kyslíku. Dochází přitom k částečné přeměně pevného paliva na plyné za pomoci zplyňovacích látek, kterými mohou být například vodní pára, H_2 , CO_2 , O_2 . Teploty, při kterých probíhá proces zplyňování, se pohybují řádově od 700 až do 1100°C podle použité technologie.

Při samotném zplyňování je možné při pečlivé kontrole teploty, obsahu kyslíku a doby setrvání částic biomasy v reaktoru (sekundy až desítky sekund) přeměnit prakticky všechny dostupný organický materiál na plyn. Pokud jako okysličovadlo použijeme vzdušný kyslík, má vzniklý surový plyn nízkou výhřevnost (4 až 6 MJ/m³), obsahuje cca 18-20% CO , 18-20% H_2 , 2-3 % CH_4 a zbytek dusíku, obsahuje dehty, fenoly a tuhé částice.

V současné době je k zplyňování biomasy používáno několik metod, mezi které patří zejména zplyňování v generátorech s pevným ložem, zplyňování v generátorech s fluidním ložem a například také Battelle-Culubombovou metodou.

Výhřevnost energetického plynu vyrobeného zplyněním biomasy se pohybuje v rozmezí 4 až 6 MJ/m³. Tento plyn lze následně bez větších úprav využít ke spalování v klasických kotlových hořácích, a po dodatečném vyčištění i ve spalovacích komorách spalovacích turbín a upravených spalovacích motorů (kogeneračních jednotkách). Využití plynu vyrobeného zplyněním biomasy je dále vhodné i pro řadu technologických procesů, při kterých tento plyn může nahradit zemní plyn. Výhodou je, že plyn po výstupu z generátoru nemusí být speciálně čištěn, postačí jeho ochlazení na teplotu vhodnou pro klasické kotlové hořáky. [6]

2.1.2.5. Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace patří mezi významné a velice často používané možnosti při využití a zpracování některých druhů biomasy. Mezi nejčastěji využívané materiály k procesu anaerobní fermentace patří odpady a zbytky z živočišné výroby (exkrementy, kafilerní zbytky), organické komunální odpadní materiály a odpady z potravinářského průmyslu. Dále je také možné použít různé další materiály, jako jsou například olejnaté plodiny, sláma, obiloviny a odpady z dřevařského a zemědělského průmyslu a výroby.

Anaerobní fermentace vlhkých organických látek je v podstatě proces, při kterém dochází k mikrobiálnímu rozkladu organických látek za nepřítomnosti kyslíku a během tohoto procesu dochází ke vzniku výsledného energetického produktu, kterým je bioplyn. V dostupné literatuře se můžeme setkat s různými názvy označujícími tento proces, mezi které patří například metanogenní kvašení, metanová fermentace, anaerobní digesce, biogasifikace, biometanizace a biochemická konverze organické látky.

Biologického procesu rozkladu organických látek se účastní mnoho různých kmenů organismů, proto se jedná o velice složitý několikastupňový proces, na jehož konci vznikne již zmiňovaný bioplyn. Zjednodušeně můžeme tento proces popsat pomocí čtyř základních fází, které je možné najít podrobně popsané v literatuře [1,2,6,7]:

1. **Hydrolýza** - první fáze procesu, která probíhá za přítomnosti vzdušného kyslíku. Kyslík je postupně spotřebováván aktivitou aerobních bakterií, které postupně svými enzymy rozloží organické látky obsažené v biomase na základní stavební prvky (cukry, mastné kyseliny, aminokyseliny apod.). Pro činnost těchto bakterií je důležité, aby obsah vlhkosti zpracovávaného materiálu byl vyšší než 50%.
2. **Acidogeneze** - druhá fáze při které dochází působením acidogenních bakterií ke vzniku mastných kyselin. Vznikají kyseliny octové, kapronové, valerové, máslové, propionové a také některé alkoholy. Souběžně s tímto procesem dochází také ke vzniku oxidu uhličitého a vodíku. V této fázi procesu dochází také k vytvoření anaerobního (bezokyslíkatého) prostředí.
3. **Acetogeneze** - během této fáze již dochází k transformaci produktů vzniklých při druhé fázi na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou.
4. **Metanogeneze** - poslední fáze fermentace, při které vzniká z kyseliny octové působením metanogenních acetotrofních bakterií metan. Další takzvané hydrogenotrofní bakterie zase vytvářejí metan z dříve vzniklého vodíku a oxidu uhličitého. V této fázi již musí být prostředí striktně anaerobní (bezokyslíkaté), neboť kyslík je pro uvedené bakterie velmi škodlivý

Výsledkem všech výše uvedených procesů je tedy vznik směsice plynů, které jsou obecně označovány jako bioplyn. Dále také získáváme surovinu v podobě digestátu, což jsou v podstatě zbytky na dně fermentoru. Digestát lze následně použít jako velice kvalitní hnojivo, jelikož organické zbytky nacházející se v tomto materiálu mají velmi příznivý vliv na půdu.

Proces anaerobní fermentace se používá zejména v bioplynových stanicích a je možné jej dále rozdělit do dvou typů, které se od sebe liší zejména vlastnostmi zpracovávané vstupní biomasy. První možností je bioplynová stanice, ve které probíhá suchá fermentace, při které se zpracovávají tuhé materiály (vysokosušinné). Druhým způsobem je mokrá fermentace, při které se naopak zpracovávají materiály tekuté (čerpateľné).

2.1.2.5.1. Mokrá způsob fermentace

Při tomto způsobu se vhodné organické odpady dopraví do míchací a homogenizační nádrže, kde se s přidáním cirkulační vody upraví do podoby čerpateľného substrátu. Ten je následně veden do velkorysové fermentační nádrže – bioreaktoru, ve které probíhá vlastní fermentační proces. Provozní teploty ve fermentoru ve většině případů bývají v rozmezí mezofilních teplot (30 - 40 °C), v některých případech je ale možné použít i termofilní teplotu (50 – 60 °C). U kombinovaných vícestupňových systémů může být použito obou výše uvedených teplot. Doba, po kterou se materiál nachází ve fermentoru, se nazývá retenční doba a je závislá na materiálových a procesních parametrech. Běžně se tato doba pohybuje v rozmezí mezi 10 – 90 dnů. Dávkování materiálu do fermentoru může být provedeno jako kontinuální, semikontinuální nebo dávkové (vsázkové). Přesné řízení dávkování materiálu do fermentoru je velmi důležité, jelikož při nedostatečném množství materiálu se snižuje produkce bioplynu a kapacita bioplynové stanice zůstává nevyužitá. Naopak při předávkování, dochází k okyselení materiálu ve fermentoru, a to může vést ke kolapsu fermentačního procesu. [1,2,6,7]

Zbytky po fermentaci se uskladňují ve sběrných nádržích a je možné je přímo aplikovat v zemědělské výrobě. Proces je kontinuální. Pro zvýšení kvality výstupního materiálu (hnojiva) se obvykle zařazuje stupeň, v němž proběhne rozdělení suroviny na tuhý a kapalný podíl. Odloučená voda, resp. kapalný podíl se poté vrací do technologického procesu.

Získaný bioplyn se skladuje v plynojemu, který je umístěn přímo nad fermentorem, nebo je proveden jako externí plynový zásobník. Bioplyn je následně nejčastěji použit pro pohon kogenerační jednotky se spalovacím motorem. Další možností využití bioplynu představuje jeho dodatečná úprava s ohledem na kvalitu, která je poté srovnatelná se zemním plynem. Takto upravený bioplyn je poté možné vtlačet přímo do rozvodu zemního plynu.

Mokrá způsob zpracování biomasy je vhodný zejména pro suroviny s větším podílem vody, jako např. kejda z chovu vepřů, exkrementy drůbežářských podniků apod..

2.1.2.5.2. Suchý způsob fermentace

Suchým způsobem fermentace je nejčastěji využíván pro zpracování organického odpadu, jako je například slamnatý kravský hnůj. Hnůj se plní do velkých košů, které jsou válcového tvaru (průměr 3,5-5 m) a následně se po naplnění přiklopí plechovým zvonem. V krátké době po naplnění se teplota hnoje počne samovolně zvyšovat v důsledku probíhajících mikrobiologických procesů a také začne vznikat bioplyn. Bioplyn obsahuje na začátku procesu větší množství oxidu uhličitého a menší podíl metanu. V průběhu procesu ovšem dochází ke změně tohoto poměru a metanu významně přibývá. Vznikající bioplyn je odsáván potrubím zaústěným z podlahy do prostoru pod zvonem, který je vůči okolí utěsněn jednoduchým vodním uzávěrem. Celý proces fermentace trvá opět 10 až 60 dní. Následně je zvon zvednut a zbývající substrát z koše se použije jako kvalitní hnojivo. Aby byl proces kontinuální, je bioplynová stanice zpravidla vybavena několika koši i zvony. Vzniklý bioplyn odsávaný ventilátorem z pracujících zvonů se promíchává a uskládňuje v tlakových nebo atmosférických plynojemech. [6,8]

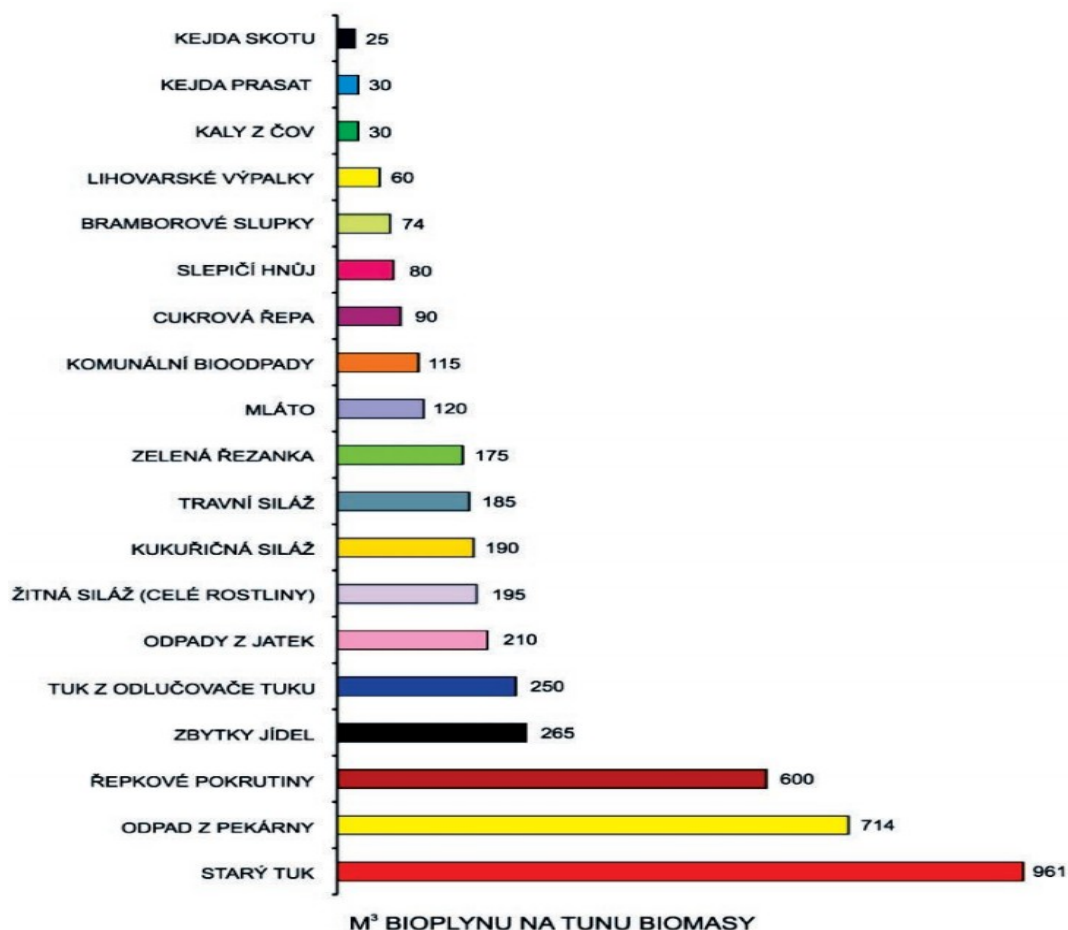
2.2. Bioplyn

Jak již bylo uvedeno výše, bioplyn je plyn tvořený směsicí plynů. O složení této směsi plynů rozhodují především vlastnosti použitého materiálu a procesní vlastnosti samotného průběhu anaerobní fermentace. Obvykle tento plyn obsahuje následující látky:

- metan CH_4 (50 – 75%)
- oxid uhličitý CO_2 (20 – 45%)
- vodní páru H_2O (0 – 7 %)
- dusík N_2 (0 – 5 %)
- kyslík O_2 (0 – 2 %)
- vodík H_2 (0 – 1 %)
- čpavek (0 – 1 %)
- sulfan H_2S (0 – 4,5 %)

„Přítomnost vodíku zpravidla nemá vliv na kvalitu bioplynu, svědčí pouze o nerovnováze mezi bakteriemi podílejícími se na acidogenní a metanogenní fázi. Koncentrace kyslíku v bioplynu jsou nežádoucí, protože tvoří společně s bioplynem třaskavou směs. Sirovodík v zařízení způsobuje jeho korozi (armatury, plynoměry, hořáky, motory), navíc spalováním H_2S vznikají škodlivé oxidy síry SO_x . V praxi se z bioplynu odsiřuje profukováním přes granulát složený z oxidů železa, nebo přes železné piliny. Jiným způsobem odsíření je bakterie *Thiobacillus*, která v kapalně fázi mění H_2S na síru.“ [citace lit.2]

Výhřevnost bioplynu (energetický obsah) je dán obsahem spalitelných plynů, tj. metanu. Podíl dalších hořlavých plynů, které jsou v bioplynu obsaženy je tak malý, že se v praxi ani neuvažuje. V případě absolutně suchého bioplynu je výhřevnost rovna spalnému teplu. Objem se běžně udává v m^3 , které se stanovují při určité teplotě plynu a tlaku, a následně se tyto hodnoty přepočítávají na normální stav bioplynu (Nm^3), který je charakterizovaný teplotou 0°C a tlakem 101,325 kPa.



Obr. č.2.4 Teoretická výtěžnost bioplynu z různých surovin (z 1 tuny biomasy) [14]

2.2.1. Využití bioplynu

Mezi nejobvyklejší způsoby využití vyrobeného bioplynu patří:

- výroba elektrické a tepelné energie (kogenerace,)
- pohon spalovacích motorů a plynových turbín – výroba mechanické energie
- přímé spalování a ohřev teplonosného média (výroba tepla, svícení, sušení, ohřev užitkové vody atd...)
- neenergetické využití bioplynu (např. výroba sekundárních produktů z bioplynu)

2.3. Bioplynové stanice

Bioplynová stanice představuje ucelený soubor zařízení s různou technologií, určených ke zpracování různých forem biomasy. Hlavním cílem bioplynové stanice je výroba bioplynu pomocí procesu anaerobní fermentace. Bioplyn je poté nejčastěji využíván pro pohon kogeneračních jednotek, které jsou umístěny zpravidla přímo v bioplynových stanicích.

Bioplynové stanice je následně možné z hlediska typu zpracovávaného materiálu rozdělit na tři typy:

- **zemědělské bioplynové stanice** (linky na zpracování exkrementů hospodářských zvířat, rostlinných zbytků a cíleně pěstovaných energetických plodin)
- **bioplynové stanice v čističkách odpadních vod** (průmyslové, zemědělské i komunální)
- **bioplynové stanice využívající skládkový plyn**

2.3.1. Zemědělské bioplynové stanice

Prakticky všechny zemědělské bioplynové stanice jsou složeny z následujících základních částí:

- příjmová část (příjem, příprava a úprava materiálu)
- fermentor nebo soustava fermentorů, dofermentor
- úpravna a sklad bioplynu (bioplynová koncovka)
- strojovna kogeneračních jednotek
- kalová koncovka
- bezpečnostní fléra



Obr. č.2.5 Příklad bioplynové stanice – Willingshausen / Hesensko [11]

2.3.1.1. Příjmová část

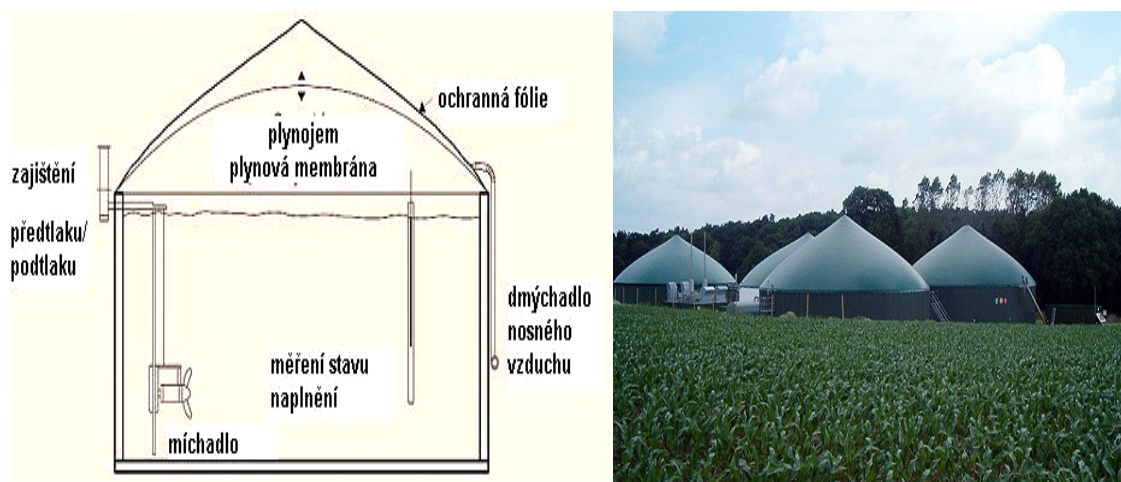
Jedná se zpravidla o zásobníky a vstupní jímky, ve kterých se provádí úpravy materiálu. Mezi tyto úpravy patří separace nežádoucího materiálu (sklo, kovy, kusy dřeva, kameny), míchání více druhů materiálů, čímž také dochází k optimalizaci materiálu (změna pH, C:N, obsahu sušiny atd.). Dále zde také probíhá ředění nebo naopak zahušťování materiálu, inokulace (intenzifikace fermentačního procesu), homogenizace, dezintegrace, dávkování materiálu do fermentoru a v neposlední řadě také hydrolýza, což je počáteční fáze fermentačního procesu.[1]

Nejčastější provedení vstupních jímek je v podobě zakrytých železobetonových nádrží, které mohou být částečně zapuštěny do okolního terénu. Obvyklou součástí vstupních jímek bývá čerpadlová šachta rovněž vytvořená z železobetonu.

2.3.1.2. Fermentor

Fermentor neboli reaktor, případně soustava fermentorů představují nejdůležitější část celého technologického procesu výroby bioplynu. Vlastní výroba bioplynu probíhá právě ve fermentoru. Fermentory jsou konstruovány zpravidla jako betonové uzavřené plynotěsné nádrže o objemu desítek až stovek m³ a jsou vybaveny zařízením pro vnášení materiálu, odstraňování produktů fermentace, zařízením pro míchání materiálu a také topnou soustavou pro ohřev materiálu. Nejčastěji se vyskytují fermentory kruhové tvaru, ovšem mohou být konstruovány i jako čtvercové nebo obdélníkové. Vrchní část fermentoru je téměř vždy vybavena plynojemem s plynovou membránou, ve které se hromadí vytvořený bioplyn. Často bývají také rozděleny na dvě části resp. dvě nádoby. V první nádrži - fermentoru probíhá hydrolýza a acidogeneze, ve druhé nádrži – dofermentoru probíhá acetogeneze a melanogeneze.

Za fermentor lze považovat nádrže určené pro mokrou nebo suchou fermentaci, ale také lagunou na tekuté materiály, reaktivní skládky a skládky na tuhé materiály. V bioplynových stanicích je nejčastěji použito reaktorů pro mokrou fermentaci. Příklady provedení fermentoru jsou zobrazeny na následujícím Obr. č. 2.6. [1,7]



Obr. č. 2.6 Příklad konstrukce a provedení fermentorů [1,7]

2.3.1.3. Skladování bioplynu

Bioplyn vyrobený prostřednictvím bioplynových stanic je nejčastěji skladován přímo v bioplynových stanicích a to prostřednictvím plynojemů, které jsou umístěny přímo nad fermentory, nebo v takzvaných vyrovnávacích plynojemech které mohou být umístěny mimo fermentor. Velká část bioplynových stanic postavených v České republice ovšem není vybavena vyrovnávací plynojemy. Vzniklý bioplyn se tedy hromadí již v dříve zmíněných prostorách přímo nad fermentory. Velkou nevýhodou tohoto provedení je to, že při výpadku procesu fermentace, resp. nedostatku vyvíjeného plynu, musí být omezena nebo úplně přerušena výroba elektrické a tepelné energie, neboť zásoba plynu nad fermentory, vydrží řádově několik málo minut (cca 5 – 15 minut podle velikosti fermentoru).

Hlavním účelem vyrovnávacích plynojemů tedy je vyrovnávat rozdíly mezi aktuální výrobou a spotřebou bioplynu. Kapacita bioplynových zásobníků pak zpravidla nepřesahuje jednodenní produkci bioplynu a podle tlaku můžeme rozdělovat na plynojemy s velmi nízkým tlakem, nízkotlaké, středotlaké a vysokotlaké. Mezi hlavní materiály, ze kterých bývají plynojemy konstruovány, patří kov, plast (PVC), gumotextilní folie, a železobeton v kombinaci s různými gumotextilními vaky. [1,8]



Obr. č.2.7 Příklady různého provedení zásobníků na bioplyn (plynojemy)[1,8]

2.3.1.4. Úprava bioplynu

Velice důležitým procesem v technologii výroby bioplynu je také samotná úprava bioplynu. Syrový bioplyn by mohl svým chemickým složením při následném využití k energetickým nebo jiným účelům, poškozovat některé technické celky např. kogeneračních jednotek. Jako příklad může být uvedena vyšší vlhkost bioplynu, která následně může způsobovat korozi kovových potrubí. Z tohoto ale i mnoha dalších důvodů se proto přistupuje k úpravě bioplynu. [1,7,8]

Mezi základní procesy úpravy patří:

- sušení bioplynu (z důvodů vysoké vlhkosti – tvorba kondenzátu)
- odstraňování oxidu uhličitého (korozivní účinky, snižuje energetický potenciál plynu)
- odstraňování sulfanu (jedovatý, korozivní účinky a má nepříznivý vliv na olejové náplně spalovacích motorů)
- odstranění další příměsí (např. halogenových plynů a dalších minoritních plynů)



Obr. č.2.8 Zařízení pro úpravu bioplynu v BPS Loděnice (odstranění vlhkosti a odsíření bioplynu)

2.3.1.5. Strojovna kogeneračních jednotek

Jedná se o budovu, ve které jsou umístěny kogenerační jednotky a další potřebné technologické celky důležité pro provoz a řízení bioplynové stanice. Nejčastěji bývají provedeny jako zděné budovy s betonovým základem, ve kterých jsou umístěny následující zařízení:

- kogenerační jednotky
- chladicí zařízení a tepelné výměníky
- olejové a plynové hospodářství
- rozvaděče elektrické energie a místnost pro trafostanici
- provozní místnost s hygienickým zařízením

V prostorách budovy jsou také dále umístěny zařízení pro sledování a řízení provozu kogeneračních jednotek a také různá bezpečnostní zařízení. Příklad provedení strojovny s KGJ, je zobrazen na *Obr. č.5.3 Kogenerační jednotky : 2 x 250 kWe*, který je zobrazen na straně 45.

2.3.1.6. Kalová koncovka

Kalová koncovka, nebo také skladovací jímka je nádrž sloužící pro uskladnění zbytků (digestátu) po fermentaci. Většinou bývají tyto jímky provedeny jako nezakryté železobetonové nádrže s kruhovým půdorysem, které mohou být částečně zapuštěny do okolního terénu. Vybavení těchto jímek nečastěji obsahuje ponorné horizontální míchadla, šnekové čerpadla a snímačem výšky naplnění.

Výstupním produktem z bioplynové stanice je tedy kromě bioplynu také fermentovaný materiál – digestát. Při anaerobní fermentaci dochází k rozkladu 30 až 70 % organické hmoty. Digestát je následně možné využít jako kvalitní hnojivo. Nevýhodou digestátu ovšem je, že v něm může docházet ke zvýšení koncentrace např. těžkých kovů, což může jeho využití jako hnojivo do jisté míry omezit. U některých větších biostanic je digestát rozdělován na tuhý a tekutý. V tuhém digestátu zůstává větší podíl organické sušiny a méně živin (N, P, K) a jeho nejčastějším využitím je jako příměs do kompostů. Tekutý digestát obsahuje naopak větší podíl živin a po doplnění minerálními přísadami se nejčastěji využívá ve formě tekutého hnojiva. [1,8]



*Obr. č.2.9 Pohled do nádrže s mokrým digestátem [10] a Bezpečnostní fléra umístěná v BPS
Loděnice*

2.3.1.7. Bezpečnostní fléra

Důležitou součástí každé bioplynové stanice je bezpečnostní-havarijní fléra (hořák). Bezpečnostní fléra je zařízení, které slouží ke spalování přebytečného bioplynu převážně v případech nouzového odstavení kogeneračních jednotek z důvodů náhlé poruchy, nebo při velkém přebytku bioplynu při kterém dojde k úplnému naplnění plynového. Je umístěna v bezpečné vzdálenosti od jímek a propojena s fermentory a koncovým skladem plynu pomocí plynového potrubí.

2.3.2. Bioplynová stanice v čističkách odpadních vod

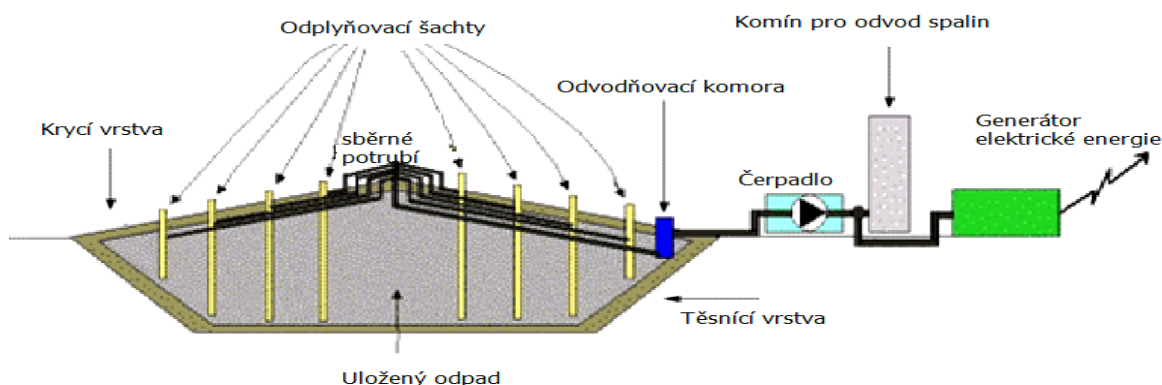
„V čistírnách odpadních vod dochází k anaerobní digesti v rámci technologického procesu čištění odpadních vod. Produkovaný bioplyn je obvykle jímán a může být využíván pro vytápění reakčních nádrží a v případě jeho přebytku i pro další energetické účely. Čistírny odpadních vod jsou jednou z mála oblastí, v nichž jsou v ČR již dlouhodobě používány kogenerační jednotky a to jak se spalovacími motory, tak se spalovacími turbínami. Použití kogeneračních jednotek je zde výhodné a tyto jednotky se stávají jednotnou součástí celého technologického procesu čištění odpadních vod. V současné době se zde dává přednost kogeneračním jednotkám se spalovacími motory“. [citace lit. 6]

2.3.3. Bioplynová stanice využívající skládkový plyn

Uvnitř těles skládek komunálního odpadu, který obsahuje určitý podíl organické složky odpadu, probíhají anaerobní procesy, které jsou analogické procesům v bioplynových stanicích. Jedná se v podstatě o prostředí s malým podílem kyslíku, kde se samovolně množí bakterie produkující bioplyn, který může obsahovat až 50 až 70 % metanu. Zbytek vzniklého bioplynu je tvořen převážně CO_2 a dusíkem. Skládkový plyn dále také obsahuje stopové množství vodíku, kyslíku, sirovodíku apod. Tento plyn je jímán pomocí řady odběrných sond a prostřednictvím sběrných potrubí je přiváděn ke kogeneračním jednotkám se spalovacím motorem.

Nevýhodou využití skládkového plynu může být využití tepla. Většina skládek se totiž nachází ve větší vzdálenosti od potenciální poptávky po vyrobeném teple. Teplo vyrobené v kogeneračních jednotkách může být využito pro vytápění průmyslových či komunálních objektů, otop skleníků nebo zemědělských sušáren, apod. V některých případech je ale výhodnější dovést skládkový plyn do několika set metrů vzdáleného průmyslového podniku než vyrábět teplo a elektřinu přímo na skládce. [6,7]

V současné době jsou kogenerační jednotky instalovány na většině velkých skládek nacházejících se v ČR. Potenciál pro uplatnění dalších kogeneračních jednotek je v tomto případě již do značné míry vyčerpán.



Obr. č.2.10 Zjednodušený princip získávání skládkového bioplynu [10]

3. Kogenerační jednotka, možnosti řízení výstupní tepelné a elektrické energie

Nejčastější způsob pro využití bioplynu, jehož proces výroby je popsán v předchozí kapitole, je v současné době kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KVET) neboli kogenerace. Jedná se tedy o společnou postupnou (integrovanou), nebo současnou produkci konečných forem energií přeměněných z primární formy paliva, prostřednictvím transformačních procesů na koncové produkty připravené k využití u spotřebitele. Ve většině bioplynových stanic provozovaných v České republice se k tomuto účelu využívají kogenerační jednotky s pístovými spalovacími motory, které jsou spojeny s generátorem.

V následujících kapitolách budou popsány jednotlivé druhy kogeneračních systémů, možnosti uspořádání kogeneračních jednotek, možnosti pohonu kogeneračních jednotek a také způsoby jejich řízení.

3.1. Kogenerační systémy

K účelům kogenerace se tedy využívají kogenerační jednotky, které spolu s dalšími zařízeními tvoří kogenerační systémy. Kogenerační systémy jsou zařízení, které zahrnují kogenerační jednotku, řídicí systém kogenerační jednotky (KGJ) a také systém dopravy a spotřeby konečných forem energie.

3.1.1. Druhy kogeneračních systémů

Základní způsob rozdělení těchto systémů je proveden podle pořadí využívání produkovaných forem energií a paliva, a proto je tedy můžeme rozdělit na:

- horní kogenerační systémy
- dolní kogenerační systémy

3.1.1.1. Horní kogenerační systémy

Jedná se o kogenerační systémy, ve kterých dochází nejprve k získání tepelné energie z použitého paliva. Tato tepelná energie, resp. teplo o vysokých parametrech je nejprve využito pro různé technologické procesy například v ocelářských pecích, sklářských pecích. Zbytková tepelná energie je následně zavedena do energetického zařízení, kterým může být například tepelný motor. V tepelném motoru poté dochází k přeměně zbytkové tepelné energie na mechanickou práci a ta je následně využita k pohonu generátoru a tedy k výrobě elektrické energie. Zbytkové teplo z tohoto tepelného oběhu je možné následně využít pro další účely, nebo představuje ztráty, vzniklé při transformaci energií. Horní kogenerační systémy se používají ovšem v daleko menší míře než následující dolní kogenerační systémy. Je to dáno tím, že pro efektivní výrobu mechanické energie pomocí tepelných motorů je nutná poměrně vysoká vstupní teplota do tepelného oběhu. [3,8]

3.1.1.2. Dolní kogenerační systémy

U dolních kogeneračních systémů dochází k využití energie získané z paliva k výrobě elektrické energie. Při tomto procesu vzniká současně jako vedlejší produkt také energie tepelná, která může být následně využita pro další účely. Jedná se především o tepelnou energii, kterou nelze, nebo lze jen velice obtížně přeměnit dále na energii elektrickou a z tohoto důvodu se tato tepelná energie používá nejčastěji např. pro dodávku tepla sloužící k vytápění budov.

Kogenerační jednotky, které jsou provozovány v bioplynových stanicích, bývají téměř vždy provedeny jako dolní kogenerační systémy.

3.1.2. Možnosti využití kogeneračních systémů

Další možností rozdělení kogeneračních systémů je rozdělení podle účelu jejich využití. To tedy představuje rozdělení těchto systémů podle způsobu, kterým jsou aplikovány do distribuční sítě elektrické a tepelné energie a to z pohledu zdrojů elektrické a tepelné energie. Rozdělujeme je tedy podle této technologie na zdroje:

- základní
- špičkové
- záložní
- rezervní
- specifické

Kogenerační výrobu je dále také možné rozdělit podle druhu spotřeby tepla na:

- centralizovanou spotřebu (zásobování teplem)
- průmyslovou kogeneraci
- kogeneraci pro komerční sféru
- kogeneraci pro komunální sféru
- kogeneraci pro bytovou sféru (vytápění domácností)

Z hlediska distribuce tepelné energie je jednoznačně zřejmé, že při rozhodování o místě, ve kterém bude kogenerační systém instalován, je velice výhodné, aby kogenerační jednotka byla co možná nejbližší ke spotřebě tepelné energie. Je to kvůli tomu, že elektrickou energii je daleko jednodušší dopravovat i na velké vzdálenosti. Naproti tomu distribuce tepelné energie na větší vzdálenosti je z ekonomického hlediska značně nevýhodná.

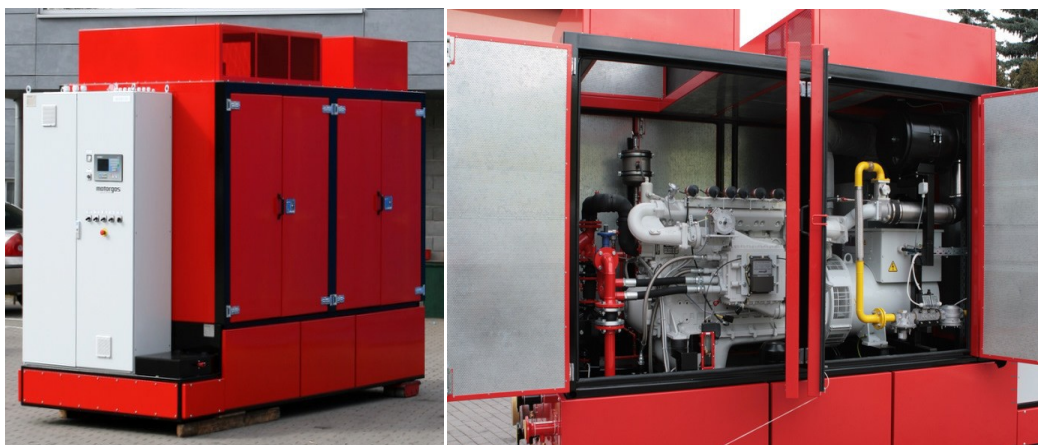
3.1.3. Konstrukční uspořádání kogeneračních systémů

Podle konstrukčního provedení, resp. uspořádání, v současné době vyráběných kogeneračních jednotek, uvažujeme nejčastěji dva typy uspořádání:

- modulové uspořádání
- stavebnicové uspořádání

3.1.3.1. Modulové uspořádání

V modulovém uspořádání se nejčastěji vyrábějí kogenerační zařízení menšího výkonu. Jednotlivá zařízení kogenerační jednotky jsou v tomto případě soustředěna do jednoho celku (modulu) a jsou umístěna co nejbližší u sebe. Výhoda takové provedení spočívá v tom, že jednotky lez snadno propojovat, dále výhoda v podobě úspory investičních nákladů a v neposlední řadě je výhodné, že celá kogenerační jednotka je dodávána od jednoho výrobce, takže nevzniká problém v kompatibilitě jednotlivých částí kogenerační jednotky. Jednotlivé moduly musí splňovat také předepsané normy určující provoz a připojování technologických celků. Samotná instalace těchto jednotek je poměrně rychlá a provoz je vysoce automatizovaný. Jednotky je možné umisťovat do vnitřních nebo venkovních prostor, a jejich součástí je také velice často protihluková ochrana.



Obr. č.3.1 Příklad modulového provedení kogenerační jednotky

3.1.3.2. Stavebnicové uspořádání

Stavebnicové uspořádání kogeneračních jednotek je běžné zejména u jednotek s vyššími výkony. Jednotlivé technologické celky těchto jednotek jsou velice často dodávány od různých výrobců (dodavatelů), kteří se specializují na výrobu právě konkrétních součástí. Vývoj těchto jednotek směřuje v dnešní době k zlepšení jejich výkonových a užitných vlastností, především o snahu zvýšení účinnosti, omezení emisí škodlivých látek, prodlužováním lhůt pravidelných oprav a tedy prodlužování životnosti těchto jednotek. Dále také zlevňování a zkvalitňováním servisních služeb a dalšími opatřeními, které se s ohledem na konstrukci projevují také tím, že dochází ke zmenšování jednotlivých sekcí, popřípadě modulů.[8,9,12]

3.2. Pohon kogeneračních jednotek

Pro pohon generátorů v kogeneračních jednotkách může být použito dnes již v celku velké množství různých pohonných mechanismů. Je to dáno tím, že s rostoucím počtem instalovaných kogeneračních systémů roste i intenzita vývoje nových druhů pohonných jednotek. Pro pohon generátorů v kogeneračních jednotkách lze tedy použít:

- spalovací motory
- spalovací plynové turbíny
- parní turbíny (protitlaké, kondenzační s odběry atd..)
- kombinované paroplynové cykly s rekuperací tepla
- Stirlingovy motory
- mikroturbíny
- zařízení využívající organické Rankinovy cykly (ORC)
- systémy Talbot
- parní motory

Dále můžeme KGJ, a tedy obecně i kogenerační systémy rozdělit podle mnoha kritérií. Patří mezi ně i rozdělení KGJ podle typu využívaného primárního paliva na technologie využívající:

- obnovitelné zdroje
- neobnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje, které jsou využívány pro kogenerační výrobu, představují nefosilní zdroje energie. Jako palivo pro spalovací motory v kogeneračních jednotkách se potom nejčastěji využívají různé druhy bioplynu (např. plyn z bioplynových stanic, kalové plyny z čističek odpadních vod, skládkové plyny).

Neobnovitelné zdroje jsou zastoupeny fosilními palivy, které jsou postupně spotřebovávány v různých energetických výrobnách a jejich zásoba se neustále zmenšuje. Mezi neobnovitelné zdroje využívané v kogeneračních systémech patří především zemní plyn, butan, propan, uhelný plyn, kapalný plyn, motorovou naftu a lehké topné oleje.

Výběr použitého paliva souvisí především s konstrukcí samotného spalovacího motoru, ale je také samozřejmě dán dostupností těchto zdrojů v blízkosti kogeneračních jednotek. Bioplynové stanice mohou být také vybaveny plynojemem, a jelikož výkon kogenerační jednotky se dá poměrně snadno a rychle řídit je možné využít tyto zdroje ve špičkovém provozu. Vhodná je také kombinace s akumulátorem tepelné energie. V letních měsících kdy je potřeba výroby tepla značně menší je také vhodný způsob využití přebytečné tepelné energie, která by byla jinak nevyužita, k trigeneraci. [1,2]

Trigenerace představuje společnou výrobu elektrické energie, tepla a chladu. Technologicky se v podstatě jedná o spojení kogenerační jednotky s absorpční chladicí jednotkou. Je to výhodné zejména v létě, protože je možné využít tepelnou energii z kogenerační jednotky i mimo topnou sezónu a tím prodloužení ročního chodu jednotky. Pokud tedy dovedeme přeměnit teplo na chlad, tak nám nic nebrání v tom, aby tento chlad byl využit všude tam, kde je zapotřebí klimatizace. Mezi příklady uplatnění může například patřit využití tohoto chladu pro klimatizaci v bankách, hotelech, nemocnicích, sportovních střediscích atd.

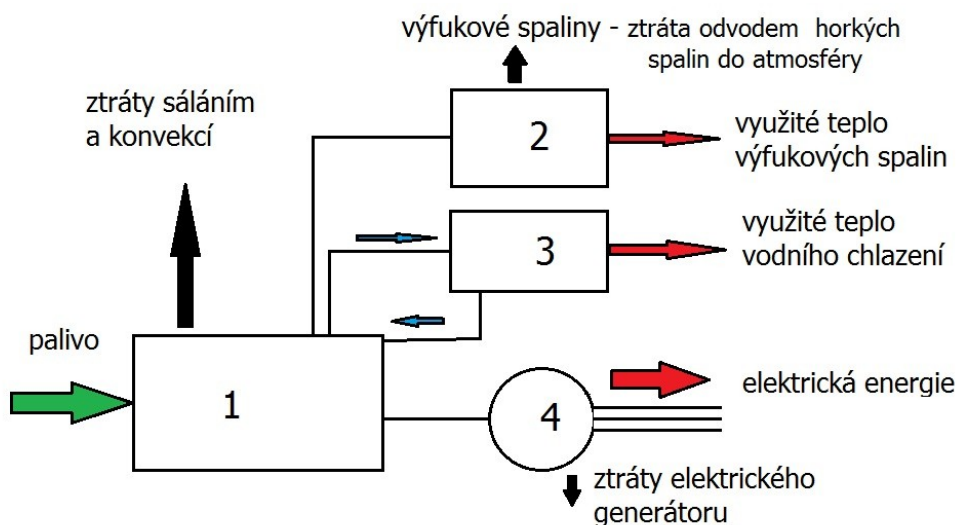
3.3. Kogenerační jednotky v bioplynových stanicích

Kogenerační jednotky provozované v ČR jsou ve většině případů navrženy a provozovány jako dolní kogenerační systémy. V těchto jednotkách dochází prostřednictvím spalování paliva k současné výrobě elektrické a tepelné energie. Proces přeměny energie paliva je proveden tak, že nejprve se využije vysokopotenciální tepelná energie paliva k vykonání mechanické práce, která je následně použita pro pohon generátoru a tedy k výrobě elektrické energie. Tepelnou energii získáváme prostřednictvím tepelných výměníků. Podle typu tepelného výměníku se teplo do výměníků přivádí buď v podobě spalin, chladicí vody nebo mazacího oleje. Tepelným výměníkem je následně energie tepla předána na nosná média (horká nebo teplá voda, případně pára).

Výroba obou forem energie je spolu pevně svázána a je také dán poměr mezi jejich množstvím. V kogeneračních jednotkách se zhruba 30% využitě energie paliva přemění na elektrickou energii, 60% představuje využitá tepelná energie a zbylých 10% představují tepelné ztráty. Elektrickou energii je poté možné dodávat do rozvodné sítě a tepelnou energii lze velmi dobře využít na vytápění fermentorů, bioplynové stanice, nebo pro vytápění jiných blízkých objektů nebo budov. [8,9]

Každou kogenerační jednotku tvoří téměř vždy soubor několik technologických celků, mezi které patří:

- elektrický generátor a zařízení pro připojení na síť
- motor (pohonná jednotka)
- kotle a výměníky tepla včetně propojení na rozvodné sítě
- řídicí a kontrolní systém



Obr.č. 3.2 Toky energií u kogenerační jednotky se spalovacím motorem (1 - spalovací motor, 2 - výměník tepla spaliny/teplá voda, 3 - výměník tepla chladicí voda/teplá voda, 4 - elektrický generátor)

3.3.1. Plynové spalovací motory

Mezi nejčastěji využívané pohonné systémy KGJ v bioplynových stanicích patří plynové spalovací motory. Jedná se v podstatě o klasické pístové motory s vnitřním spalováním, které jsou obdobné automobilovým motorům. Jejich úprava spočívá v přizpůsobení motoru na spalování paliva ve formě plynu (bioplyn, metan atd.). Nejčastěji se tedy upravuje palivová soustava (přívod paliva) a spalovací prostor. Další konstrukční úpravy pak mohou spočívat v úpravě chladicího systému a to jak vody, tak i mazacího oleje a také v úpravě výfukového potrubí za účelem využití tepelné energie.

Plynové spalovací motory mohou být podle druhu zapálení směsi vzduchu a paliva rozděleny do dvou skupin :

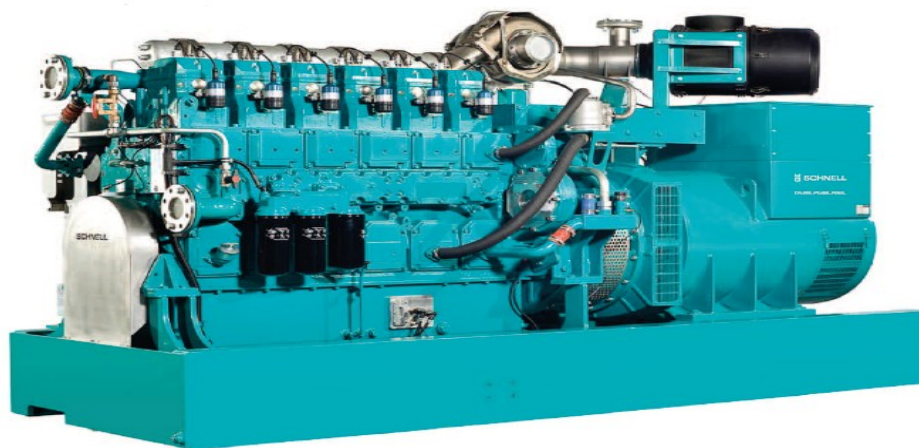
- Vznětové motory
- Zážehové motory

U vznětových motorů (označovaných také jako dieselový nebo naftový motor) dochází k zapálení směsi paliva v prostoru spalovací komory válce motoru samovznícením, v důsledku vstřiku paliva do horkého a stlačeného vzduchu. Účinnost těchto motorů se hříděli pohybuje v rozmezí mezi 35 až 45% a jejich jednotkový výkon může dosahovat až 25MW. Moderní vznětové motory mají vysoký kompresní poměr a používají také zpožděné zapalování a hoření, aby dosáhly snížení emisí NO_x , a to při zachování vysoké účinnosti a výkonu.

U zážehových motorů dochází k zapálení směsi paliv a vzduchu pomocí jiskry v prostoru spalovací komory válce. Zážehové motory se vyznačují nižší účinností než vznětové, a to v rozmezí 27 až 43% a také jejich maximální výkon je menší.

Oba druhy motorů potřebují speciální uložení, neboť jejich provozem vznikají nevyvážené síly, které se projevují vibracemi. Úkolem tohoto uložení je eliminace těchto nevyvážených sil (vibrací). Dalším problémem při provozu KGJ je také hluk, a to zejména nízkofrekvenční složky, které mají negativní vliv na lidský sluch. Z tohoto důvodu se KGJ velice často vybavují protihlukovou ochranou, a to například ve formě různých druhů zvukové izolace, nebo protihlukových přepážek.

Z hlediska účinnosti a maximálního výkonu je vhodné provozovat spalovací motory v režimu s mírným přebytkem vzduchu. Nevýhodou toho však je, že při tomto režimu motory produkují poměrně vysoké množství NO_x a jiných škodlivých látek. Naopak použije-li se provoz v režimu velkého přebytku vzduchu, dojde k podstatnému snížení emisí NO_x , ale současně dojde k zvýšení obsahu CO a nespálených uhlovodíků ve spalínách a může to také vést k nestabilitě chodu spalování a tedy provozu celé jednotky.[8,9]



Obr. č.3.3 Příklad provedení plynového spalovacího motoru připojeného k el. generátoru [12]

3.4. Možnosti řízení výstupní tepelné a elektrické energie

V současné době, jsou již prakticky všechny kogenerační jednotky vybaveny systémem automatické regulace provozu, jehož funkce a rozsah regulace závisí zejména na typu a velikosti použitého motoru. Typ regulace potom především závisí na tom, zda je daná kogenerační jednotka určena primárně pro výrobu elektrické energie a tepelná energie je pouze vedlejší produkt, nebo je tomu obráceně.

3.4.1. Dispečerské řízení provozu bioplynových stanic

Český Energetický zákon také ukládá povinnost vybavit každou bioplynovou stanicí systémem, který umožňuje dispečerské řízení. Tato povinnost vychází z §23 zákona č. 458/2000 Sb. v platném znění (novela Energetického zákona z roku 2011), kde se v písmenu q) uvádí:

“Výrobce elektřiny je povinen vybavit výrobu elektřiny s instalovaným výkonem 100 kW a více zařízením umožňujícím dispečerské řízení výroby elektřiny a udržovat toto zařízení v provozuschopném stavu; tato povinnost se nevztahuje na výrobu elektřiny využívající obnovitelné zdroje elektřiny poprvé uvedené do provozu do roku 2000 o instalovaném výkonu do 10 MW včetně a na průtočné malé vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 10 MW včetně.” [23]

Následně §104 definuje, že pro všechny zdroje nad 100 kW je nejzazším termínem 30. červen 2013. Vlastní využití dispečerského řízení je zakotveno v pravidlech řízení distribuční soustavy, které vydává každý jednotlivý provozovatel distribuční soustavy. Dále byly také nastaveny režimy řízení výkonu a to 100-75-50-0% výkonu (s ohledem na efektivní využití bioplynu), oproti ostatním obnovitelným zdrojům, které budou řízeny v hladinách 100-70-30-0% výkonu. Základem tohoto kaskádového odpojování zdrojů jsou sekvence dle charakteru výroby elektřiny. Jako první budou odpojovány resp. omezovány fotovoltaické elektrárny, dále větrné elektrárny, bioplynové stanice bez kombinované výroby elektrické a tepelné energie (KVET) a jako poslední dojde k odpojení bioplynových stanic se společnou výrobou tepla a elektrické energie (KVET).[23]

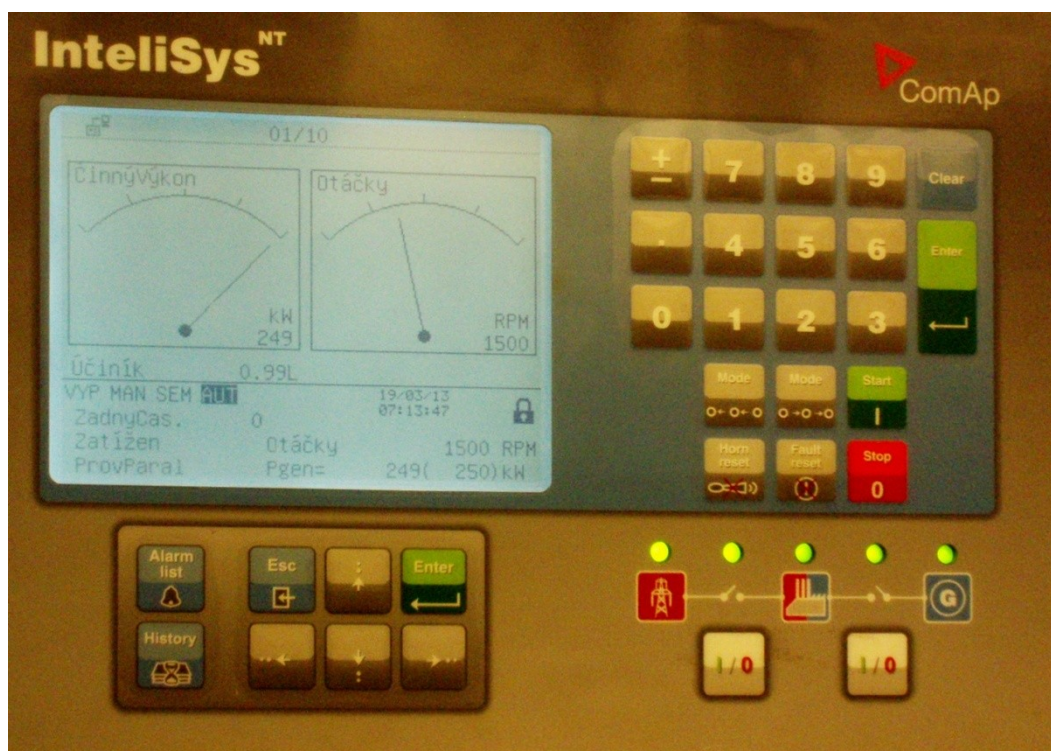
3.4.2. Řízení a regulace provozu kogeneračních jednotek

Pro samotné ovládání kogeneračních jednotek se používá několik druhů řídicích systémů v závislosti na výkonu kogenerační jednotky a požadavcích zákazníka. Všechny typy řídicích systémů zabezpečují nejčastěji plně automatický chod celého soustrojí. Pro ovládání více kogeneračních jednotek slouží specializované řídicí systémy, tzv. koncentrátoři. Tyto systémy umožňují rozdělování výkonu mezi jednotlivé kogenerační jednotky. Kogenerační jednotky lze také ovládat místně nebo dálkově.

Pro místní ovládání je možné využít ovládací panel s klávesami a displejem řídicího systému. Dálkové ovládání je možno provádět z připojeného osobního počítače, nebo přes internet, příp. z mobilního telefonu. Ovládací panely bývají u jednotek s menším výkonem umístěny přímo na jednotce. KGJ vyšších výkonů mají ovládací panel umístěný někde v blízkosti jednotky. Najíždění KGJ a odstavení z provozu je obvykle zcela automatické, s danou hierarchií jednotlivých činností (promazání, start bez zatížení, přiřazování, zatěžování, provoz, odlehčení, odfázování, odstavení). [24, 25]

Vlastní provoz jednotky je obvykle řízen několika možnými způsoby:

- výkon KGJ je plynule měnitelný prostřednictvím řídicího systému KGJ
- výkon KGJ kopíruje vlastní spotřebu objektu tak, aby provozovatel z rozvodné sítě proud neodebíral, ale ani ho neodebíral. Taková regulace se používá v případě, kdy provozovatel KGJ nemá zájem dodávat elektrickou energii do sítě např. z důvodu nízké výkupní ceny.
- v nejjednodušším provedení rozeznává KGJ pouze výkonové stavy: plný výkon – prohřívací výkon. (používá se pouze u asynchronních generátorů malého výkonu)



Obr. č. 3.4.: Ovládací panel jedné z kogeneračních jednotek v BPS Loděnice

Z jednotlivých provozních celků kogenerační jednotky jsou pomocí řídicího systému průběžně snímány hodnoty důležitých teplotních a elektrických veličin a jsou neustále porovnávány s nastavenými hodnotami. V případě, že hodnota některé z měřených hodnot je mimo povolený rozsah, je provoz jednotky automaticky upraven, nebo je jednotka odstavena z provozu. Naměřené hodnoty jsou velice často také neustále ukládány do paměti řídicího systému. Tyto hodnoty je poté možné dále zpracovávat a mohou sloužit pro možnost zpětné kontroly provozu jednotky.

Jelikož s řídicím systémem jednotky lze komunikovat po běžných sítích, je možno jednotku připojit na tzv. centrální dispečink (obvykle dodavatele jednotky), pomocí kterého je provoz jednotky neustále sledován, s možností včasného odhalení poruchových stavů, a který též umožňuje dálkové uvádění a odstavování jednotky z provozu. Výhoda tohoto propojení s centrálním dispečinkem je v podobě včasné odhalení nastávající poruchy a naplánování pravidelné údržby což významně zvyšuje spolehlivost chodu kogenerační jednotky. [24]

U malých KGJ postačí ve většině případů velice jednoduchá regulace, která spočívá v automatickém startu, odstavení, a nejčastěji velice jednoduchém dvoustupňovém regulačním režimu provozu (100 – 0%). Velké kogenerační jednotky mívají naopak regulaci složitější a důmyslněji propracovanou. Jedná se o automatický systém, který provádí regulaci kogenerační jednotky a v podstatě celého systému, podle aktuální potřeby zejména elektrické energie, ale samozřejmě také energie tepelné. V některých případech může být tepelná energie přednějším než elektrická, tzn., že tepelná energie se využívá například jako zdroj tepla pro topení a ohřev vody. V takových případech jsou kogenerační jednotky vybaveny ještě sekundárním okruhem

pro ohřev teplonosného média. Tento ohřev může být realizován jako kotel s plynovými hořáky, které spalují stejné palivo jako spalovací motor. U takových systémů se potom řídí činnost všech systémů např. podle vnější teploty, teploty vratné vody, teplotního rozdílu topné a vratné vody atd. Kogenerační jednotky musejí být také vybaveny systémem pro nouzové chlazení, a to zejména v těch případech, kdy není možné zcela odvést plný tepelný výkon jednotky do chladicí soustavy.

Velkou výhodou kogeneračních jednotek se spalovacími motory je zejména to, že jsou schopny rychlého náběhu na plné provozní parametry. Toho se také využívá při pokrývání špiček lokálního výkonového zatížení sítě. V takových případech jsou kogenerační jednotky vybaveny takovým řídicím systémem, aby bylo možné jejich propojení s centrálním dispečinkem řízení dané soustavy, a pomocí něho je také plně řídit.

Samotný provoz kogenerační jednotky bývá téměř bezobslužný. Jsou prováděny pouze pravidelné kontroly (denní) např. pravidelnosti chodu motoru atd. Servis kogeneračních jednotek je možné zajišťovat přímo provozovatelem kogenerační jednotky, nebo prostřednictvím externích dodavatelů, na základě určitých podmínek (daných požadavků pro provoz).

3.5. Výhody a nevýhody kogeneračních jednotek

Mezi největší výhody kogeneračních jednotek patří:

- využíváním odpadního tepla při výrobě elektrické energie dochází až k 40% úspoře paliva při srovnání s tradičními technologiemi
- při vlastní spotřebě vyrobeného tepla a elektrické energie se z velké části lze vyhnout přenosovým ztrátám
- vysoká účinnost využití paliva – 80 až 85 % a z toho 30 až 35 % připadá na elektrickou energii a 65 až 70% na tepelnou energii
- relativně snadná regulace, ovšem pouze do jistého rozsahu (zejména u spalovacích motorů)
- ve srovnání např. s uhlím vynikají kogenerační jednotky nízkou hodnotou škodlivých emisí

Naopak mezi nevýhody kogeneračních systémů patří:

- poměrně vysoké investiční náklady
- návratnost vložených financí je závislá na způsobu využití vyrobených forem energií

4. Vliv proměnlivého výkonu větrných a solárních elektráren na distribuční síť

Obnovitelné zdroje energie (OZE) jsou z hlediska přeměny energie jedním z nejčistších zdrojů, protože při jejich využití k výrobě elektrické a tepelné energie nevznikají téměř žádné škodlivé emise, jako je tomu například při využívání fosilních paliv. V následujících kapitolách této práce budou popsány nevýhody provozu obnovitelných zdrojů se zaměřením na větrné a solární elektrárny, jejichž počet v České republice za posledních několik let prudce vzrostl.

4.1. Centralizovaná a rozptýlená výroba elektrické energie

V České republice se většina vyrobené elektrické energie získává z jaderného paliva a fosilních paliv, mezi které patří uhlí a zemní plyn. Tyto paliva jsou následně zpracovávána a využívána ve velkých elektrárenských blocích. Takový typ výroby potom nazýváme centralizovanou výrobou elektrické energie, neboť celou distribuční síť zásobuje pouze několik málo desítek generátorů. Výhodou těchto zdrojů je to, že mají předvídatelný charakter průběhu výroby elektrické energie a je možné je také do značné míry regulovat.

Naproti tomu existuje také rozptýlená výroba (někdy také označována jako distribuovaná výroba nebo disperzní výroba). Tento typ výroby elektrické energie je charakterizován prostřednictvím spousty menších výroben, které jsou rozmístěny a připojeny k distribuční soustavě (DS) v různých místech. Rozptýlená výroba může mít významný vliv na tok výkonů, profil napětí v sítích, stabilitu napětí, kvalitu elektrické energie, chránění elektrických sítí, spolehlivost a bezpečnost a to jak v pozitivním, tak převážně negativním smyslu. Může to být v závislosti na mnoha faktorech určených především typem provedení a parametry zdroje elektrické energie a také typem distribuční soustavy, do které je zdroj připojen.

Mezi nejčastější zdroje rozptýlené elektrické energie patří z velké části právě obnovitelné zdroje energie (OZE), které jsou nejčastěji zastoupeny v podobě:

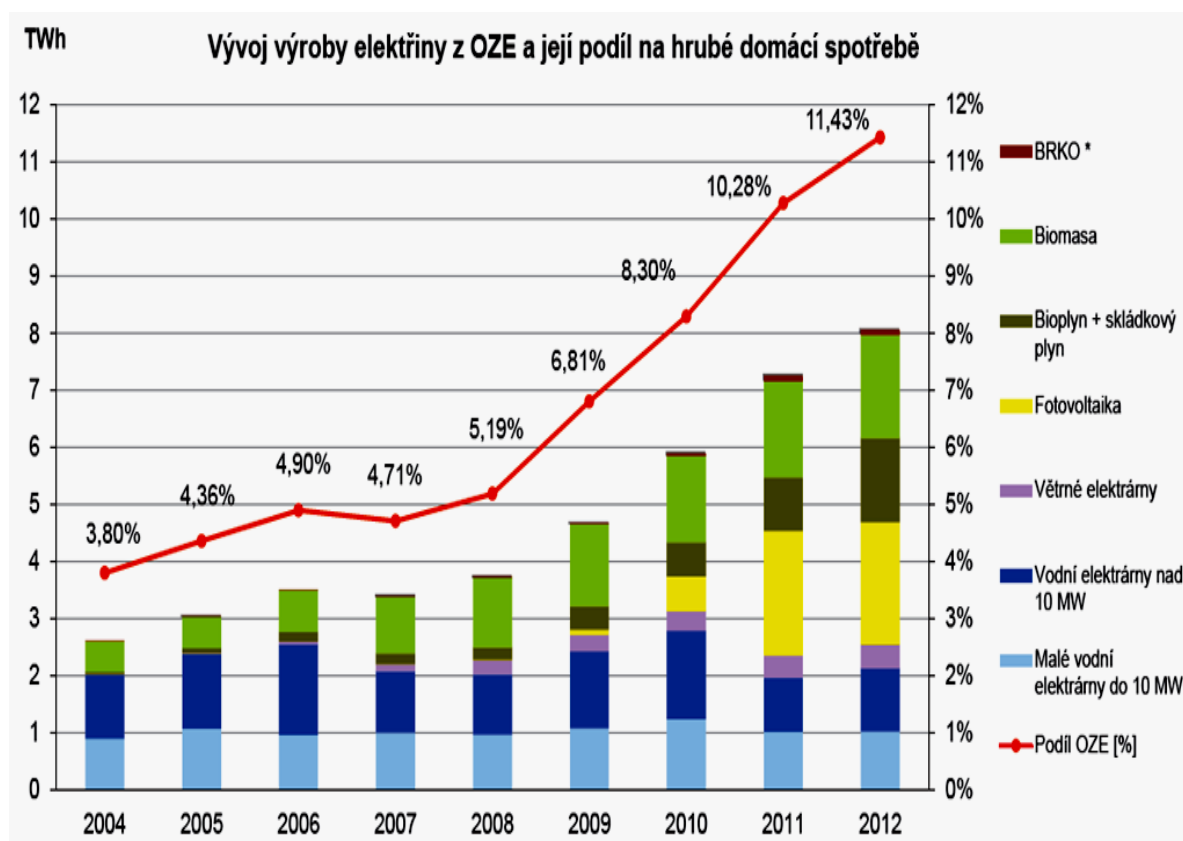
- větrných elektráren (VTE)
- solárních elektráren (fotovoltaické - FVE)
- kogeneračních jednotek
- malých vodních elektráren

Využívání těchto zdrojů sebou ale přináší hned několik podstatných nevýhod, které jsou zřejmé z jejich provozu. Zejména první dva uvedené zdroje, tedy větrné a solární elektrárny se řadí mezi tzv. neřízené zdroje. Jsou to tedy zdroje, jejichž uplatnitelný výkon nelze ovlivnit ani přesně předpovídat a jejich výkon v určitém čase je vysoce závislý na proměnlivosti počasí a ročním období. I přesto, že se zvýšila kvalita předpovědních modelů výroby elektřiny z větrné a sluneční energie je jejich vypovídající hodnota (přesnost předpovědi) značně omezená a proto připojování většího počtu těchto zdrojů do elektrizační soustavy přináší nové a neplánované problémy.[15]

4.2. Rovnováha zdrojů a stávající stav distribuční sítě v ČR

Česká republika patří z hlediska fungování elektrické rozvodné soustavy k jednomu z nejlépe fungujících v Evropě, a to jak z pohledu technické úrovně, tak i z hlediska řízení a regulace. Přibližně do konce poloviny minulého století tvořili obnovitelné zdroje energie (OZE) pouze nepatrnou část energetických zdrojů, tudíž nebyla otázkou stability sítě, resp. bezpečné dodávky elektrické energie zásadním problémem, protože klasické zdroje energie ať už s jaderným nebo fosilním palivem mají, jak už bylo psáno výše, předvídatelný charakter výroby a lze je také do určité míry regulovat.

Přibližně od roku 2005 dochází k většímu rozvoji a využívání OZE, přičemž velkou část těchto zdrojů tvoří neřízené OZE, mezi které patří právě VTE a FVE. Vzhledem k platné energetické legislativě v ČR, díky které byly výkupní ceny elektrické energie z OZE nastaveny vysoko a v nepoměru k výkupním cenám v okolních zemích, došlo od let 2009/2010 až do současnosti, k připojení obrovského množství VTE a zejména FVE do DS.



Obr. č.4.1.: Vývoj výroby elektrické energie z OZE a její podíl na domácí hrubé spotřebě [26]

Velký nárůst instalovaného výkonu z těchto zdrojů potom negativně ovlivňuje provoz celé ES, zejména potřebu udržet v rovnováze strukturu průběhu poptávky a výroby elektrické energie a současně také i odpovídající technickoprovozní zajištění spolehlivosti přenosu, transformace a distribuce elektrické energie. Je zřejmé, že potenciální nebezpečí nestability elektrických sítí způsobily jednoznačně právě některé druhy, zejména neřízených OZE, mezi které jednoznačně patří FVE a VTE. Zdroje postavené na principu využití biomasy a malé vodní elektrárny lze ovšem považovat za zdroje řízené (alespoň částečně), protože jejich elektrický výkon dodávaný do sítě lze předpovídat s odchylkami v řádu procent.

Nevýhoda neřízených OZE spočívá v tom, že vyrábějí v určitý okamžik elektrickou energii na jejich téměř plný instalovaný výkon a během několika málo desítek sekund jejich výkon poklesne na několik málo procent, nebo úplně na nulu. Takovéto zdroje potom nelze považovat za plnohodnotné zdroje elektrické energie, jelikož je nutné jejich výkonové výkyvy vykrývat drahými podpůrnými službami klasických zdrojů.

Dalším velice negativním faktorem neřízených OZE je množství vyrobené elektrické energie, která při zapojení plného výkonu v některých případech vysoce převyšuje domácí spotřebu elektrické energie a to i přesto že dojde k omezení výroby některých regulovatelných zdrojů. Takováto situace je pro provoz elektrizační soustavy velmi nebezpečná a může ohrozit stabilitu elektrizační soustavy. [22]

4.3. Negativní vliv OZE na výkonovou bilanci sítě

Jak už bylo uvedeno výše, tak výkonovou bilanci elektrizační soustavy je zapotřebí regulovat takovým způsobem, aby byla v každém okamžiku zachována rovnováha mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. To tedy znamená, že v každém okamžiku je výroba elektrické energie na elektrárenských blocích regulována tak, aby odpovídala okamžité spotřebě. Následkem toho je možné udržet chod soustavy v bezpečných a spolehlivých limitech.

Obtížná předvídatelnost výroby elektřiny z VTE a FVE zvyšuje nároky na rezervaci regulačního výkonu pro podpůrné služby. Důsledkem toho je nárůst nákladů a zdražování systémových služeb pro konečného zákazníka. Nárůst nákladů je úměrný velikosti instalovaného výkonu, který je připojen do elektrizační soustavy bez ohledu na to, zda jsou tyto zdroje elektrické energie připojeny k distribuční nebo přenosové soustavě. Pokud je uplatňován princip priority výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, musí v případě vysoké výroby z VTE a FVE, bloky konvenčních elektráren svoji výrobu potlačovat a naopak v případě bezvětří a zatažené oblohy naopak nahradit nedostatek výroby energie z obnovitelných zdrojů. Důsledkem toho je, že musíme neustále udržovat v provozu elektrárenské bloky, aby v případě nedostatku elektrického výkonu z FVE a VTE mohla být dodávka elektrické energie nepřetržitě zajištěna. [15,22]

4.4. Zpětné vlivy větrných a solárních elektráren na DS

Zpětné vlivy OZE zejména VTE a FVE elektráren se vztahují k charakteru jejich připojení a provozu vzhledem k distribuční síti. Svými zpětnými vlivy tyto zdroje ovlivňují kvalitu elektrické energie v DS a tím i samotné zařízení v síti nebo elektrická zařízení odběratelů elektrické energie.

4.4.1. Zpětné vlivy větrných elektráren na DS

Využívání energie větru sebou přináší celou řadu problémů, které jsou zřejmé z jeho fyzikální podstaty. Zařízení, které jsou určeny k využitím energie větru, jsou schopna pracovat pouze nevelkou část roku (v našich podmínkách 10 – 20%), což je zapříčiněno nepravidelností, nahodilostí a špatnou předvídatelností síly a směru větru. Toto nedokonalé využívání vybudovaných kapacit vede jednak k ekonomickým ztrátám v samotné výrobě a také k problémům s regulací v elektrizační soustavě.[2]

Vlivy větrných elektráren na elektrizační soustavu můžeme rozdělit do dvou kategorií:

- lokální
- systémové

4.4.1.1. Lokální vlivy

Lokální vlivy jsou dány především způsobem připojení generátoru větrné elektrárny k distribuční soustavě, parametry přípojného bodu distribuční soustavy (zkratový výkon) a volbou měřicího a řídicího zařízení. Způsob připojení k distribuční síti stanoví příslušný provozovatel distribuční soustavy na základě daných síťových poměrů, výkonu a způsobu provozu vlastní výroby. Každý zdroj, který je připojován do sítě, ji v mnoha ohledech ovlivňuje. V případě připojení větrných elektráren velkých výkonů (nebo celých větrných parků), jsou lokální vlivy těchto výroben na elektrizační soustavu značné.

Mezi základní sledované lokální vlivy patří:

- přetěžování sítí
- kolísání napětí
- zvýšení zkratových poměrů
- kvalita dodávky elektrické energie (vyšší harmonické, flickr a rušení HDO)

4.4.1.2. Systémové vlivy

Systémové vlivy VTE se v ES projevují při větším výskytu větrných elektráren v síti. Může docházet ke snížení přenosové schopnosti vedení na mezinárodních profilech. V tomto ohledu se v elektrizační soustavě České republiky v současné době projevuje především vliv větrných elektráren instalovaných v severní oblasti Německé republiky.

Z hlediska systémových vlivů jsou sledovány především následující vlastnosti:

- začlenění větrných elektráren do pokrývání diagramu zatížení
 - dodávka z větrných elektráren je nestabilní a závislá na povětrnostních podmínkách
 - při vyšším počtu větrných elektráren v síti se zvyšuje požadavek na velikost regulačního výkonu
- chování větrných elektráren při blízkých zkratech v přenosové soustavě a při velkých poruchách
 - hrozí nebezpečí plošných výpadků větrných elektráren připojených do přenosové soustavy
- dopad na stabilitu elektrizační soustavy (větrné parky mohou mít výrazný dopad na stabilitu chodu sítě v případě poruch a nárazových větrů)

4.4.2. Zpětné vlivy solárních elektráren na distribuční síť

FVE jsou charakteristické velmi rychlými změnami výroby energie, jelikož výroba závisí nejen na denním období, ale také na pokrytí oblohy oblačností. Změny výkonu o desítky procent jsou možné v řádu desítek, někdy i jednotek minut. U FVE rozptýleně instalovaných na rodinných domcích a jiných budovách, které disponují výkonem v řádu kW, není vliv na síť příliš výrazný, neboť se část energie spotřebuje v místě výroby. Problémy mohou nastat, pokud je vysoký počet těchto malých zdrojů připojen na síť 0,4 kV napájenou z jednoho transformátoru 22/0,4 kV. Při plném slunečním svitu pak může docházet k přetoku energie na vyšší napěťovou hladinu a pokud není dostatečný odběr domácností ze sítě, tak tento stav mohou následně chybně vyhodnotit i ochrany vedení vn.

Velké FVE o výkonu řádově až MW mají na elektrizační soustavu již podstatně větší vliv. Rychlé změny výkonu mohou mít za následek kolísání napětí v místě připojení (většinou VN). Větší počet těchto elektráren v oblasti s výhodnými podmínkami pak také bude vyžadovat stavbu nových vedení, která nebudou po většinu času vytížená.

Z hlediska vlivů FTE na DS, je do jisté míry možné je přirovnat k některým vlivům VTE a to z hlediska kolísání napětí, výskytu vyšších harmonických, a dopadu na stabilitu ES.

Jedním z velmi negativních a nebezpečných vlivů zejména FVE je nežádoucí ostrovní provoz, který v určitých případech představuje zvýšené riziko úrazu elektrickým proudem. Všechny zařízení v síti jsou navrženy takovým způsobem, že pokud dojde v síti k poruše, dojde k automatickému odpojení daného úseku vedení od dodávky elektrické energie. Avšak v případě, kdy je do sítě připojena i FVE, může nastat situace, kdy dojde k odpojení daného úseku sítě, ale FVE stále dodávají neúmyslně energii do sítě. To následně vede ke zvyšování rizika úrazu elektrickým proudem. [2,15,22]

4.4.3. Vliv OZE na kvalitu elektrické energie

Nepravidelná změna dodávky elektrického výkonu do DS, která je charakteristická pro FVE a VTE, může způsobit blikání světelných zdrojů - flickr. Generátory připojené přes výkonové měniče, či přímo připojené rotační generátory nevhodné konstrukce mohou do napájecí sítě injektovat proud neharmonického průběhu a tím způsobovat dodatečné harmonické zkreslení napětí v DS. OZE mohou být pro napájecí síť i zdrojem vyšších harmonických vznikajících v důsledku PWM modulace u střídačů, řídicího schématu generátorů a měničů, intermodulace dvou měničů pracujících přes DC obvod s rozdílnou fundamentální frekvencí [2]

. Z hlediska kvality dodávané energie je třeba sledovat zejména:

- Změny napětí.
- Flicker – kolísání napětí.
- Ovlivnění zařízení HDO (hromadného dálkového ovládání)
- Proudové vyšších harmonických

4.4.3.1. Změny napětí

Změna jmenovitého napětí v DS VN po připojení výrobní elektrárny z OZE v přípojném bodě nesmí přesáhnout [2]

$$\Delta u_{vn} \leq 2 \% [V, \%] \quad (3.1)$$

Změna jmenovitého napětí v DS NN po připojení výrobní elektrárny z OZE v přípojném bodě nesmí přesáhnout

$$\Delta u_{nn} \leq 3 \% [V, \%] \quad \text{kde } \Delta u_{nn} \text{ je změna jmenovitého napětí.} \quad (3.2)$$

4.4.3.2. Flicker

Flicker (z anglického flicker) je jev, který je v českém překladu znám jako blikání. Jedná se o rychlé periodické kolísání napětí, které může způsobit změny světelného toku u zdrojů světla, což může mít neblahý vliv na lidskou psychiku. Změny napětí jsou obvykle způsobené rychlými změnami činných a jalových výkonových toků v síti. Jedním z důvodů blikání mohou být větrné turbíny, které způsobují rychlé změny činného a jalového výkonu vlivem nárazových větrů nebo momentu, kdy se překrývá list vrtule se stožárem

Jako parametr určující flicker se však nepoužívá přímo úbytek napětí, ale veličina nazývaná emise flickru nebo také míra vjemu flickru. Rozlišujeme krátkodobou (short term) emisi flickru P_{st} , měřenou nebo počítanou v časovém intervalu deseti minut a dlouhodobou (long term) emisi flickru P_{lt} , určenou pro interval dvou hodin. Pravidla provozování distribuční soustavy poté definují maximální povolené hodnoty dlouhodobé míry vjemu flickru P_{lt} a to tak, že nesmí překročit hodnotu 0,46. Hodnotou 0,46 je míněn příspěvek k celkovému P_{lt} způsobený zdrojem, tzn. větrnou elektrárnou. [2,15,22]

4.4.3.3. Ovlivnění přijímačů HDO

Zařízení hromadného dálkového ovládání (HDO) jsou nejčastěji provozována na frekvencích v rozmezí cca 180 Hz až 1050 Hz. Vysílací úroveň těchto signálů se pak obvykle pohybuje mezi 1% až 4% UN. Samotná zařízení jsou potom dimenzována na zatížení, které odpovídá 50 Hz zatížení sítě, kterou napájí svým signálem.

Úroveň signálu u těchto zařízení nesmí klesnout o více než 10 – 20% pod hodnotu požadovanou, aby byla zajištěna požadovaná funkce zařízení, které využívá signálu HDO. Jestliže hrozí překročení povolených limit, tak musí být učiněny kroky, které povedou k odstranění těchto nepříznivých vlivů.

4.4.3.4. Proudý vyšších harmonických

Proudy vyšších harmonických vznikají zejména u zařízení se střídači nebo měniči kmitočtu. Tyto proudy lze definovat jako integrální násobky základní křivky proudu. Harmonické proudy emitované těmito zařízeními musí udat výrobce. Přípustné hodnoty, které mohou být emitované do sítě, jsou uvedené v podmínkách pro připojení.

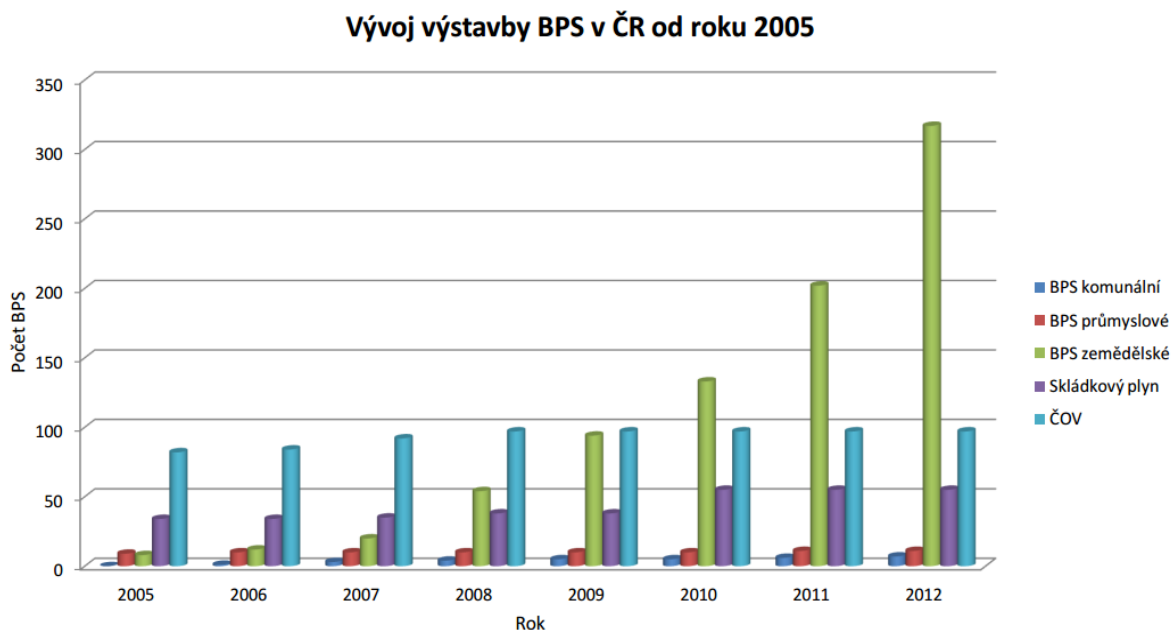
V dnešní době výrobci udávají u zařízení hodnotu celkového činitele zkreslení vyššími harmonickými. Tato hodnota nepřekračuje 5 % a měla by být dostačující k tomu, aby nedocházelo k nepříznivému ovlivňování dalších zařízení připojených do distribuční sítě. Abychom harmonické vykompenzovaly, resp. omezily, používáme tzv. filtry vyšších harmonických. Pokud jsou ale harmonické příliš velké, tak může dojít k přehřátí a v nejhorším případě i ke vznícení harmonických filtrů. [2,15,22]

5. Využití vyrobené energie z biomasy pro akumulaci v elektrických sítích

V této kapitole Diplomové práce bude proveden stručný přehled o využívání biomasy k energetickým účelům v ČR, rozebrány možnosti využití vyrobené energie z biomasy pro akumulaci v elektrických sítích. Dále zde bude popsána Bioplynová stanice Loděnice, a také popsáno a následně zhodnoceno měření, které na této stanici bylo provedeno.

5.1. Aktuální stav bioplynových stanic v ČR

Jak již bylo psáno v předchozí kapitole, díky platné energetické legislativě, došlo v ČR k velkému nárůstu výroby elektrické energie z OZE, mezi které samozřejmě také patří bioplynové stanice. Z následujícího grafu (Obr. č. 4.1.), je zřetelně patrné, že téměř okamžitě po přijetí zákonů pro podporu výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů, došlo k obrovskému nárůstu počtu bioplynových stanic provozovaných v ČR.



Obr. č.5.1.: Vývoj výstavby bioplynových stanic v ČR [18]

Do budoucna (od roku 2014) lze předpokládat částečný útlum výstavby bioplynových stanic, jelikož Energetický regulační úřad (ERÚ) nevypíše provozní podporu pro FVE a BPS uvedené do provozu od 1. 1. 2014. Je to způsobeno tím, že v oblasti výroby elektřiny z FVE a BPS bylo již v roce 2011 dosaženo výroby, která překročila limity stanovené národním akčním plánem pro rok 2013. Tím bylo také dosaženo zákonné podmínky, která stanovuje ERÚ povinnost nevypsát podporu pro tyto zdroje na další období. Proto od roku 2014, plně v souladu s platnou legislativou, další podporu pro nové zdroje ERÚ nestanoví.

Aktuálně k 1.1.2014 bylo v České republice v provozu celkem 500 bioplynových stanic, z čehož je 330 zemědělských, 7 komunálních, 11 průmyslových, 55 na skládkách a 97 bioplynových stanic je provozováno v rámci čistíček odpadních vod. [27]



Obr. č.5.2 Rozmístění bioplynových stanic v ČR [19]

Níže je uvedeno několik aktuálních údajů ze statistik týkajících se výroby elektrické energie z bioplynu k 1.1.2014. [32]:

Celkový instalovaný výkon:	392,35 MW
Celková výroba elektřiny:	87 065 GWh
Výroba z OZE:	10 129 GWh
Celková výroba elektřiny z bioplynu:	2 243 GWh
Podíl OZE na výrobě:	11,6%
Podíl bioplynu na celkové výrobě:	2,6%
Podíl bioplynu na OZE:	22,1%

Potenciál bioplynu se přitom odhaduje na 2 TWh elektřiny v roce 2020, což představuje pokrytí spotřeby asi dvou milionů domácností. Další 2 TWh připadají na teplo dodané na vytápění budov (to odpovídá spotřebě na vytápění krajského města). Odhad potenciálu je ale značně nejistý, neboť bioplynové technologie jsou jen jednou z cest, jak využívat biomasu. Jinou je využívání pevné biomasy pro přímé spalování, další je výroba biopaliv. Jak se jednotlivé technologie o dostupnou biomasu „podělí“, bude záviset na cenách ostatních paliv, případně způsobu podpory.

5.2. Možnosti využití akumulované energie z biomasy v distribučních sítích

Akumulace a následné využití akumulované energie patří mezi důležitou problematiku nejen obnovitelných zdrojů energie (OZE). Nevýhodou využívání solární či větrné energie je nerovnoměrnost slunečního svitu a větru. Částečně lze tyto výkyvy v dodávce energie pokrýt pomocí vodních elektráren, nebo využitím stále více se rozvíjejícími tzv. „inteligentní rozvodné sítě“ (smard grids), ale to vždy nemusí stačit. Proto v době přebytku energie je třeba ji akumulovat pro pozdější využití v době jejího nedostatku. Ještě důležitější je akumulace energie v oblasti ostrovních systémů, tj. systémů, které nejsou připojeny k distribuční síti.

Z hlediska BPS, se jako nejlepší a nejjednodušší forma akumulace jeví bioplyn, který vzniká přímo v těchto stanicích. Vyrobený bioplyn lze snadno akumulovat přímo v BPS pomocí plynojemů. Možnosti akumulace bioplynu pomocí plynojemů a samotná konstrukce plynojemů je popsána v první kapitole této práce. Způsob, jakým je akumulovaný bioplyn následně využit, záleží na mnoha faktorech, mezi které můžeme řadit např. například návratnost investice do akumulačního zařízení, účinnost akumulace, dobou, po kterou jsou schopny udržet akumulovanou energii s přijatelnými ztrátami, životností apod.

V současné době patří, mezi nejčastěji uvažované možnosti z hlediska využití vyrobené a akumulované energie z biomasy, níže uvedené možnosti, mezi které patří:

- využití BPS pro regulaci dodávky výkonu z OZE (FVE a VTE)
- využití BPS jako poskytovatele podpůrných služeb
- využití BPS k výrobě biometanu a jeho následné vtlačení do sítě zemního plynu

Z úvodu této kapitoly, kde je uveden aktuální stav bioplynových stanic v ČR, je zřejmé, že potenciální akumulační kapacity, z hlediska množství provozovaných BPS je značně veliký. Nevýhodou ovšem je, že velká část BPS je v současnosti provozována jako stabilní zdroj elektrické energie s nepřetržitou výrobou. Jedinými výpadky v dodávkách elektrické případně tepelné energie jsou plánované/neplánované opravy motoru a generátoru, případně dalších technologických částí, nebo mimořádně také technologické problémy spojené s nízkou úrovní produkce bioplynu. Takový to koncept provozu BPS je následně výhodný zejména pro provozovatele zemědělských družstev, případně provozovatele jiných výrobních a skladovacích technologií, při kterých vzniká dostatek dále jinak nevyužitých surovin, potřebných k výrobě bioplynu. Zejména BPS pracující v zemědělských družstvech jsou potom vnímány provozovateli těchto zařízení, jako další zajímavý doplňkový zdroj financí.

V tomto způsobu provozu spočívá velká nevýhoda z hlediska možnosti regulace dodané energie do DS. Většina stávajících BPS totiž není vybavena dostatečně velkým plynojemem, resp. rezervy bioplynu v plynojemech jsou minimální a pohybují se v řádu (desítek minut provozu) a současně KGJ jsou navrženy na kapacitu stanovenou s malou rezervou výkonu v období maximálního vývoje bioplynu.

5.2.1. Využití BPS pro regulaci dodávky výkonu z OZE (FVE a VTE)

Jendou z možností využít potenciálu BPS je jejich použití ve spolupráci s neřízenými a nepredikovatelnými OZE, mezi které patří FVE a VTE. Regulovatelné BPS by v tomto případě byly instalovány ve stejném úseku vedení VN, ve kterém se současně nachází také zmíněné OZE. Bioplynová stanice by vyráběla elektrickou energii pouze v období, kdy by kompenzovaný zdroj nevyráběl. Tím by došlo k výraznému omezení špičkového výkonu a současně i k dosažení stabilní dodávky elektrické energie v dané oblasti.

Z hlediska řízení by zdroje museli být vzájemně propojeny a musel by být také vybrán způsob, na jakou hodnotu resp. na jaký průběh výkonu bychom zdroje regulovali.

Možné způsoby regulace mohou být provedeny:

- na konstantní dodávku elektrické energie do sítě,
- podle spotřeby v daném místě
- podle průměrného denního diagramu spotřeby.

Jak již bylo řečeno výše, tak v dnešní době provozované BPS nedisponují dostatečně velkými kapacitami pro skladování bioplynu a z toho důvodu by tyto stanice musely být dovybaveny plynojemy. Tyto plynojemy by poté musely být schopny zachytit nejméně polovinu denní produkce bioplynu. Dále by musel být také navýšen alespoň dvojnásobně výkon motoru KGJ. To ovšem také současně znamená poměrně výrazné zvýšení investičních a částečně i provozních nákladů. [22]

5.2.2. Využití BPS k regulaci a k poskytování podpůrných služeb

Využití BPS k regulaci a k poskytování podpůrných služeb patří mezi další možnosti, jakými lze energii vyrobenou z biomasy uplatnit v DS. Pro efektivní regulaci bioplynových stanic by stačilo opět posílit akumulární kapacity pro vytvořený bioplyn a také posílit instalovaný výkon motoru KGJ. Samotné ovládání BPS (zapínání, vypínání nebo omezení výroby elektrické energie) je v současné době již vyřešeno a je zahrnuto ve standardních podmínkách pro provoz a možnosti připojení a odpojení BPS v krizových situacích.

Přínosem pro elektrizační soustavu a také pro její správce by mohlo poté být možnost regulace, resp. přímo poskytování podpůrných služeb ze strany BPS. Vzhledem k tomu, že průměrná velikost instalovaného výkonu v BPS se pohybuje přibližně od 0,5 do 1 MWe inst. a také, že tyto zdroje jsou rozptýleny po celém území ČR, tak je tento typ regulace vhodný spíše pro provozovatele DS.

Pro provoz DS, by však ještě daleko zajímavější možnost byla, kdyby bylo možné alespoň do určité míry regulovat energii dodávanou z BPS, a využít tak tento zdroj, pro pokrytí špiček ve spotřebě, nebo ve výrobě nuceně odebírané energie z FVE a VTE. Pro tuto možnost by ovšem bylo velice důležité, aby došlo ke sdružení BPS do tzv. virtuálních bloků, které by byly vybaveny sdruženým typem řízení a také by splňovali podmínky dané společností ČEPS, a.s. [22]

Další možnost využití regulovaného výkonu BPS představuje zahrnutí těchto výroben do regionální chytré sítě (Smart Grids). Chytré sítě jsou v současné době velice diskutovaným fenoménem, který se v ČR vyskytuje zatím pouze ve fázi experimentů a chod této sítě je podmíněn určitým technologickým vybavením a to zejména na straně odběratelů elektrické energie. Princip chytré sítě spočívá v sofistikované integraci veškerých zařízení v síti (generátorů i spotřebičů) takovým způsobem, aby byla zajištěna efektivní ekonomická a bezpečná dodávka elektrické energie. Řídící systém této sítě by tedy mohl reagovat na aktuální požadavky odběratelů elektrické energie a následně podle těchto požadavků provádět regulaci zdrojů elektrické energie, resp. vyvažovat výrobu elektrické energie ve zdrojích, které by do této sítě byly zahrnuty. [22]

5.2.3. Využití BPS k výrobě biometanu a jeho následné vtlačení do sítě zemního plynu

Využití BPS k výrobě biometanu a jeho následným vtlačení do sítě zemního plynu rozšiřujeme dvě základní energetická využití bioplynu, mezi která patří výroba elektrické a tepelné energie. Nevýhodou využití KGJ je, že po většinu roku dochází ke ztrátám tepelné energie, jelikož značné množství tepla, které je vyrobeno při kogenerační výrobě, není plně využito a po většinu roku je odváděno v podobě ztrát. Tyto ztráty mohou být omezeny, nebo úplně vyloučeny v případě, kdy budeme využívat BPS k výrobě biometanu, neboli SNG (Substitute Natural Gas), a takto vyrobený plyn, následně vtlačet do plynárenské sítě zemního plynu.

Aby mohl být bioplyn využíván v plynárenské síti, musí se svým složením co nejvíce přiblížit složení zemnímu plynu. Z hlediska složení představuje biometan, kvalitní plně obnovitelnou náhradu zemního plynu. Bioplyn i zemní plyn jsou paliva, kdy nosnou složku výhřevnosti představuje obsah metanu, ale zatímco zemní plyn je z 97-98 % tvořen metanem, tak bioplyn je tvořen pouze 50-60% metanu. Pokud tedy budeme chtít vtlačet bioplyn do distribuční sítě zemního plynu, bude nutné ho upravit na kvalitu srovnatelnou se zemním plynem. V principu se jedná o odstranění zbytkové vlhkosti, zbytkové síry a sirovodíku, oxidu uhličitého, ostatních nečistot. Výsledkem procesu úpravy bioplynu jsou poté dva produkty, z nichž jeden představuje biometan s parametry velmi blízkými zemnímu plynu a druhým produktem je odloučený oxid uhličitý. Takto vyrobený biometan je pak následně dodáván, resp. vtlačen do distribuční sítě plynu.

Mezi velké výhody tohoto způsobu využití bioplynu patří maximální využití celkového množství vyrobené primární energie z biomasy. Při výrobě biometanu je část surového bioplynu využita pro hrazení energetických nároků výrobní technologie a zbylý biometan je distribuován do distribuční sítě zemního plynu, která současně představuje i samotné akumulační zařízení pro biometan. Při zohlednění skutečnosti, že biometan musí být při dodávce do plynárenské sítě měřen ve spalném teple, lze dále k dalšímu využití v podobě biometanu využít více než 80 % výchozí energie v bioplynu (vyjádřené jeho výhřevností). Další značnou výhodou úpravy bioplynu na biometan je jeho univerzální použití a při jeho větším rozšíření pak snížení závislosti na dovozu zemního plynu. [27]

5.3. Analýza provozu BPS

V následujících kapitolách bude proveden popis BPS Loděnice. Dále zde budou uvedeny výsledky měření, které proběhlo na této stanici a provedeno zhodnocení naměřených dat.

5.3.1. Popis bioplynové stanice ZD Hraničář Loděnice

Umístění BPS: Zemědělské družstvo „Hraničář“ se sídlem v Loděnici

Obec: Holasovice – část Loděnice, Opava

Zemědělské družstvo se výrobou elektrické energie z obnovitelných zdrojů zabývá od roku 2011, kdy během tohoto roku došlo ve středisku Loděnice k zprovoznění zemědělské bioplynové stanice s instalovaným výkonem 840 kW elektrické energie a 784 kW tepelné energie. V roce 2012 došlo k následnému navýšení instalovaného elektrického výkonu na cca 1090 kW a to přidáním čtvrté kogenerační jednotky o výkonu 250 kW. Vstupními surovinami pro plnění fermentačních nádrží jsou kukuřičná siláž, cukrovarské řízky a kejda prasat.

5.3.2. Technologie bioplynové stanice:

Technologie BPS je tvořena ze vstupní jímky, která slouží pro sběr vepřové kejdy, silážních šťáv a biologicky znečištěné povrchové vody. Dále jsou zde umístěny dva fermentory, dofermentor, tři skladovací jímky digestátu (tzv. koncové sklady), strojovna kogeneračních jednotek, spojovací šachty a potrubí.

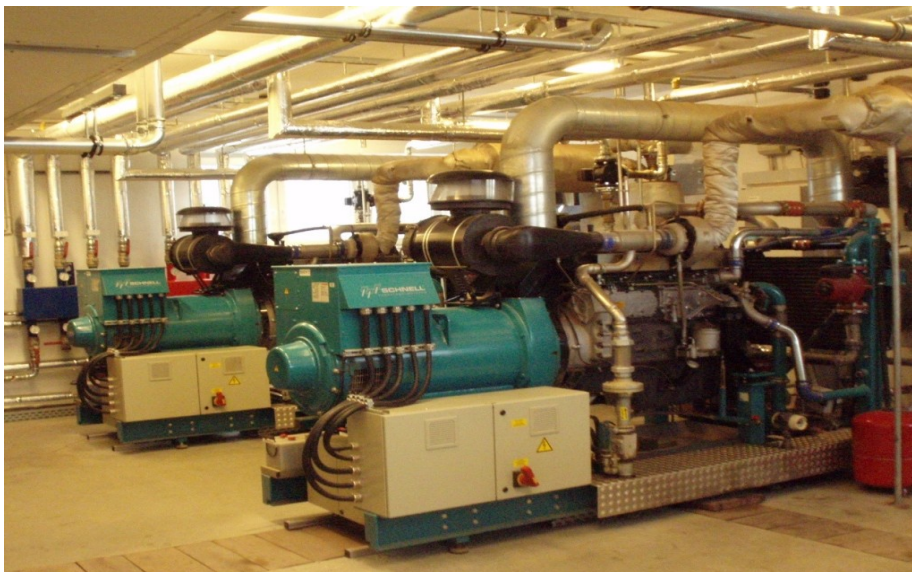
Fermentory jsou provedeny jako dvě zakryté železobetonové konstrukce kruhového půdorysu o průměru 22 m a výšce 6 m, které jsou vzhledem k okolnímu terénu částečně zapuštěny. Stropy fermentačních nádrží jsou tvořeny dřevěnou konstrukcí, na které je volně položena a po obvodu utěsněna gumotextilní elastická membrána. Ve spodní míchané části probíhá proces fermentace, v horní části fermentoru dochází k jímání bioplynu. Vrchní část fermentoru slouží zároveň tedy i plynojem, ve kterém se hromadí a dočasně také uskládňuje vytvořený bioplyn. Jelikož bioplynová tato stanice není vybavena externím plynojemem pro skladování vzniklého bioplynu, jsou prostory nad fermentory a dofermentoru, jedinými místy, kde je plyn uskladněn. Zásoba nahromaděného plynu poté vydrží při výpadku procesu fermentace pouze na cca 5 -10 min (max 15 min) provozu kogeneračních jednotek při maximálním výkonu. Fermentor je dále vybaven míchacím zařízením, vstupním dávkovačem biomasy, výstupním čerpadlem, zařízením pro ohřev fermentoru a také soustavou potrubí pro čerpání a přemísťování fermentovaného materiálu.

Dofermentor je nádrž velice podobná fermentoru. Od fermentoru se liší pouze menšími rozměry – průměr 20 m výška 6 m a také tím, že dofermentor nemá přímý vstup zpracovávaného materiálu a je tedy plněn pomocí výstupních čerpadel z fermentorů.

Skladovací jímky (koncové sklady) jsou provedeny jako nezakryté železobetonové konstrukce kruhového půdorysu s rozměry 2 x koncový sklad 17,5/9 m a 1 x koncový sklad 19/8 m. Jímky jsou dále vybaveny horizontálními ponornými míchadly a pro účely vyprazdňování nádrží osazeny šnekovými elektrickými čerpadly.[3,4]

Jednu z nejdůležitějších částí bioplynové stanice tvoří strojovna kogeneračních jednotek. Strojovna je řešena jako zděná budova, která je umístěna v severozápadní části zemědělského družstva. V budově jsou umístěny celkem čtyři kogenerační jednotky od dvou výrobců:

- 1 x kogenerační jednotka: Agrogen typ BGA 222 (340 kWe), která je složena ze zážehového osmiválcového motoru a generátoru Leroy Somer
- 3 x kogenerační jednotka: Schnell typ ES 2507 (250 kWe), která je složena ze vznětového šestiválcového motoru a generátoru Stamford



Obr. č.5.3 Kogenerační jednotky : 2 x 250 kWe

Motory jsou opatřeny chladiči a na výfucích jsou osazeny cyklónovými tlumiči hluku. Před motory je také osazeno zařízení sloužící k úpravě bioplynu s filtrem a čidlem tlaku plynu. Pro dosažení co možná nejvyšší efektivity zařízení jsou pro pohon generátorů kogeneračních jednotek použity vysoce účinné pístové motory se zápalným paprskem, které ke své činnosti potřebují jednak kromě cca 104 Nm³ /hod (KGJ 250 kW) a cca 138 Nm³ /hod (KGJ 340 kW) bioplynu také cca 3,5 kg/hod (KJ 250 kW) a cca 4,5 kg /hod (KGJ 340 kW) rostlinného oleje (RO). [3,4]

Teplo, které spalovací motory KHJ produkují při svém provozu, je jímáno prostřednictvím tepelných výměníků z chladicí vody a také ze spalinových výměníků umístěných na výfukovém potrubí.

Strojovna je také vybavena zařízením pro měření a regulaci procesu fermentace, dále pro regulaci výroby elektrické a tepelné energie a také souborem dalších pomocných přístrojů a zařízení, které jsou nezbytné pro bezpečný provoz bioplynové stanice.

Elektrická energie vyrobená KGJ je následně vyvedena do rozvaděče, který je dále napojen na trafostanici a pomocí ní připojen do systému distribuce elektrické energie. BPS je tedy vybavena vlastním transformátorem, který je umístěn v blízkosti strojovny KGJ a je napojen na stávající vedení VN 22 kV. Přehledové jednopólové schéma je přiloženo jako příloha č. II.

5.3.3. Měření na kogeneračních jednotkách BPS ZD Hraničář Loděnice

Na bioplynové stanici Loděnice bylo provedeno měření. Data z toho měření mi byly poskytnuty prostřednictvím mého konzultanta Ing. J. Janši. Naměřené data jsem se poté pokusil dále zpracovat a provést vyhodnocení naměřených hodnot a průběhů. V následujících kapitolách budou tedy popsány jednotlivé naměřené hodnoty a zobrazeny grafy těchto hodnot resp. průběhů a to zejména z hlediska výkonů a účinníku.

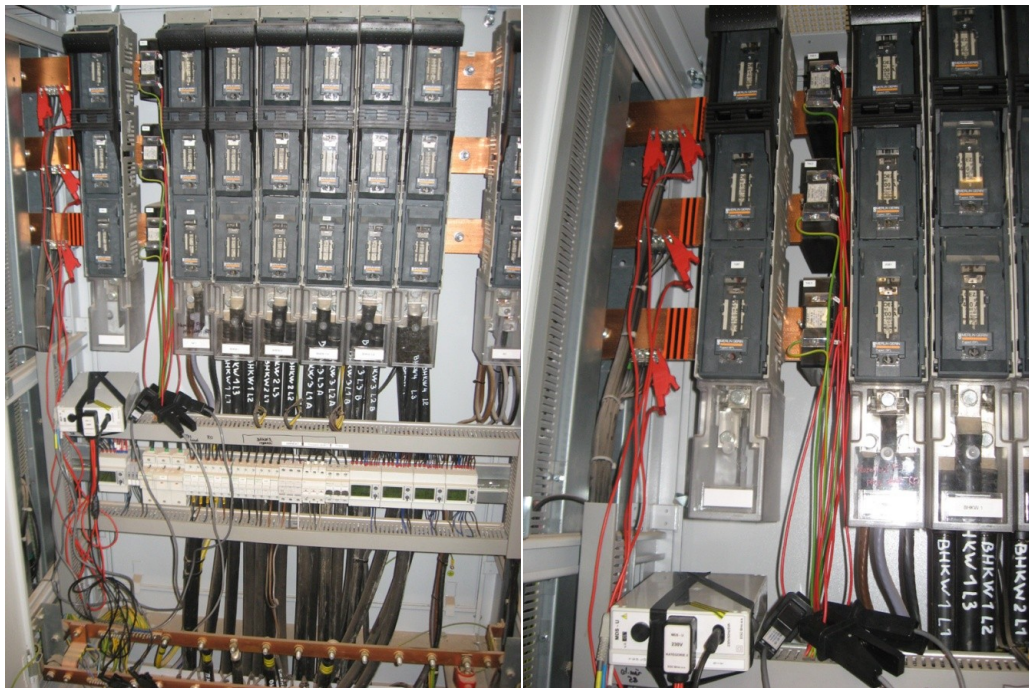
5.3.3.1. Popis měření:

Měření probíhalo v době: od 29.6.2013 (4:09) až do 5.8.2013 (8:31) - celkem 38 dní.

Místo měření: rozvaděč: RH1 BPS Loděnice

Měření bylo realizováno za pomoci automatického digitálního měřicího přístroje MDS-U. MDS-U, neboli monitor distribučních sítí, je zařízení, které je určeno pro nepřetržité měření veličin (napětí, proudů a účinníků v sítích NN, VN, VVN) a sledování vysílání HDO. Změřené hodnoty jsou následně zaznamenávány do paměti přístroje. Tento přístroj tedy měřil a do paměti ukládal v minutových intervalech efektivní hodnoty fázových napětí, proudů jednotlivých fází a účinníky. Zbývající veličiny, tj. činné, jalové a zdánlivé výkony byly pomocí tohoto přístroje dopočítány.[5,6]

Napětí bylo měřeno přímo na přípojnících v rozvaděči RH1. Proudů byly měřeny pomocí klešťových převodníků proudu MT-UNI s využitím již instalovaných přístrojových transformátorů proudu 1500/5A. Zapojení měřicího přístroje MDS-U je zřejmé z následujících obrázků.



Obr. č.5.4.: Umístění a zapojení přístroje MDS-U v rozvaděči RH1

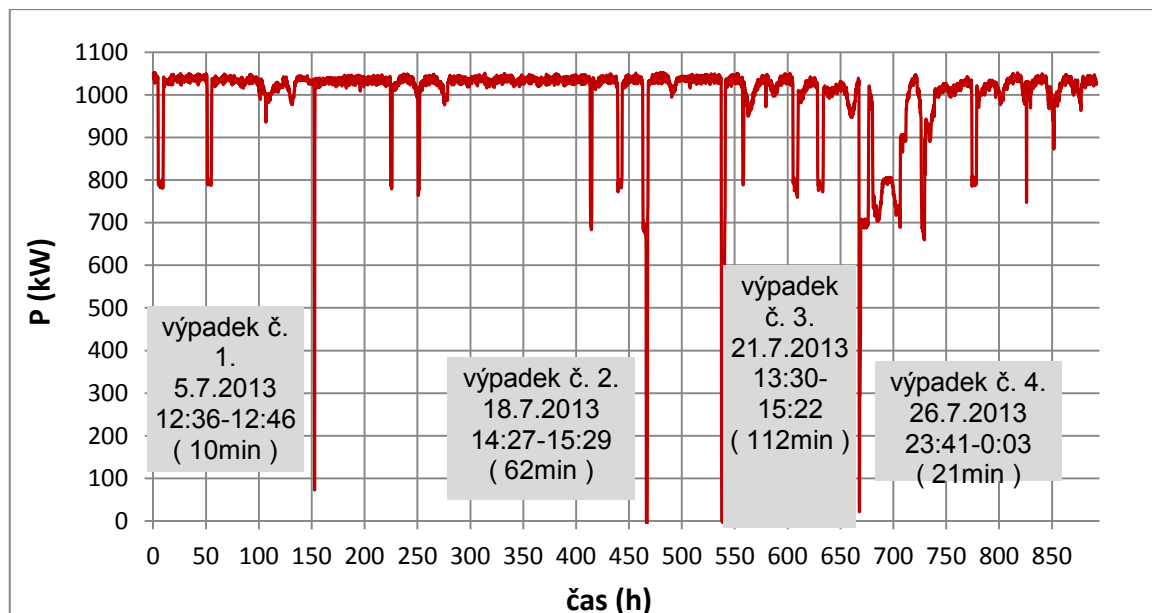
5.3.3.2. Analýza naměřených dat

V následujících odstavcích této diplomové práce, bude proveden jednoduchý rozbor a popis naměřených hodnot. Hlavním cílem bude popsat naměřené hodnoty a to především z hlediska výkonů (P, Q, S) a jejich průběhů a vzájemných závislostí.

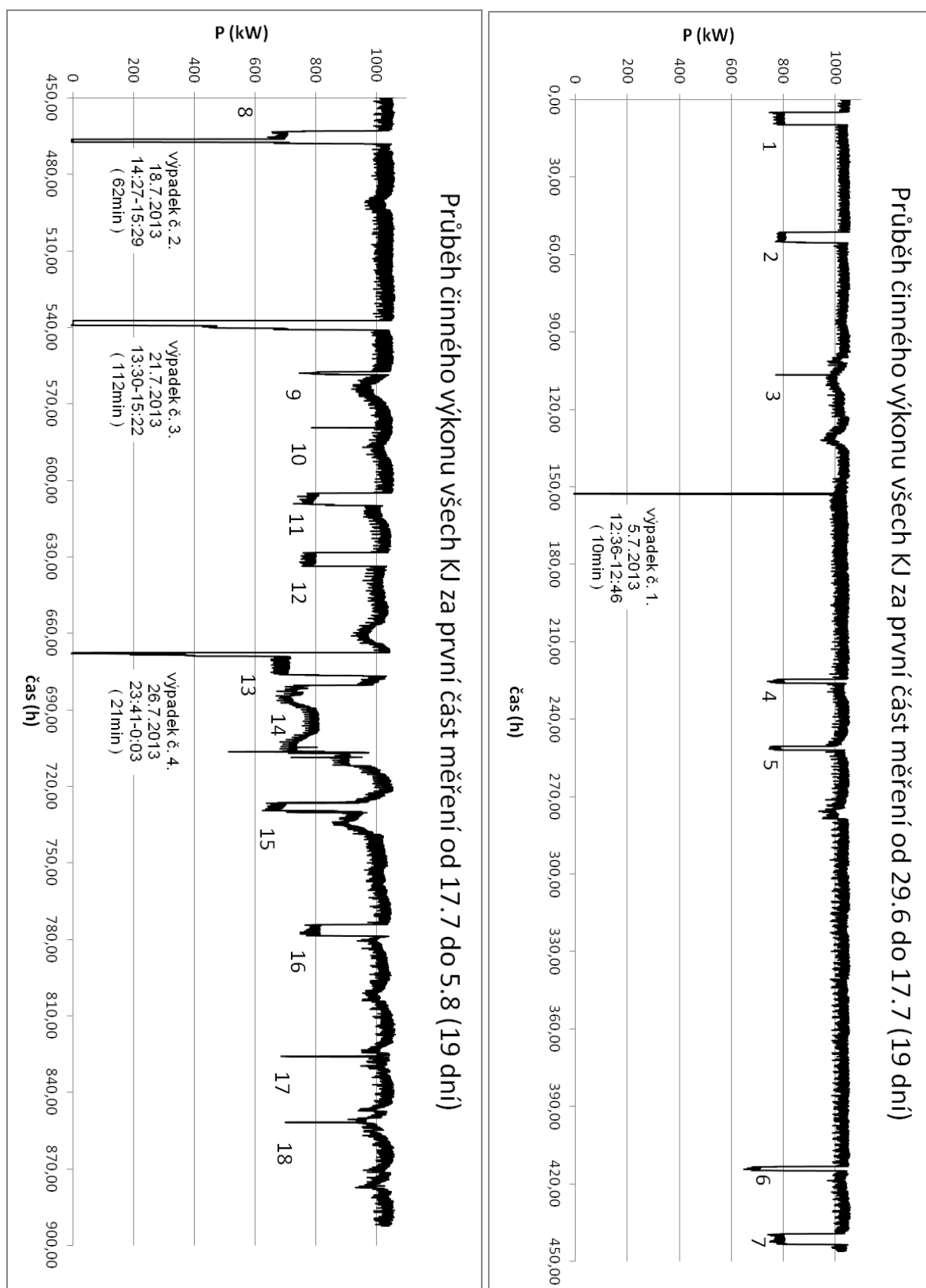
Ke zpracování změřených dat byl použit software MS Excel. Vzhledem k omezeným možnostem tohoto softwaru, jsou některé níže uvedené grafy naměřených, resp. vypočtených průběhů jednotlivých hodnot prezentovány dvěma způsoby. V prvním případě je to provedeno tak, že jsou naměřené průběhy veličin rozděleny na dvě části naměřeného časového úseku 38 dní (29.6. – 20.7. a 20.7. – 5.8.), tzn. rozděleny do dvou grafů, které byly vytvořeny z minutových vzorků měřených veličin. druhá možnost prezentování naměřených veličin spočívá v zobrazení jednoho grafu, jenž byl vytvořen z hodnot vypočítaných jako aritmetické průměry z 15-minutových intervalů v rámci všech vzorků.

5.3.3.2.1. Analýza celkového průběhu činného výkonu, jalového výkonu a napětí

Níže zobrazený Graf č. 1. zobrazuje průběh celkového činného výkonu dodávaného do sítě prostřednictvím všech kogeneračních jednotek po celou dobu trvání měření (38 dní). Průběh celkového činného výkonu zobrazeného v tomto grafu je vytvořen součtem činných výkonů v jednotlivých fázích (P1 + P2 + P3). Z tohoto grafu je patrné, že během provozu došlo celkem ke čtyřem úplným výpadkům dodávky výkonu z kogeneračních jednotek do sítě. Nejdelší výpadek nastal dne 21.7. 2013 v době od 13:30 do 15:22 což představovalo přerušení dodávky výkonu na 112 minut. Celková doba, kdy jednotky nedodávaly výkon do sítě, je 207 minut (tj. 3 hodiny a 27minut). Tato doba představuje přibližně 0,387 % z celkového provozu kogeneračních jednotek (892,383 h).



Graf č.5.1.: Průběh celkového činného výkonu všech kogeneračních jednotek dodávaného do sítě po celou dobu měření. (vytvořeno z 15-minutových průměrných hodnot)



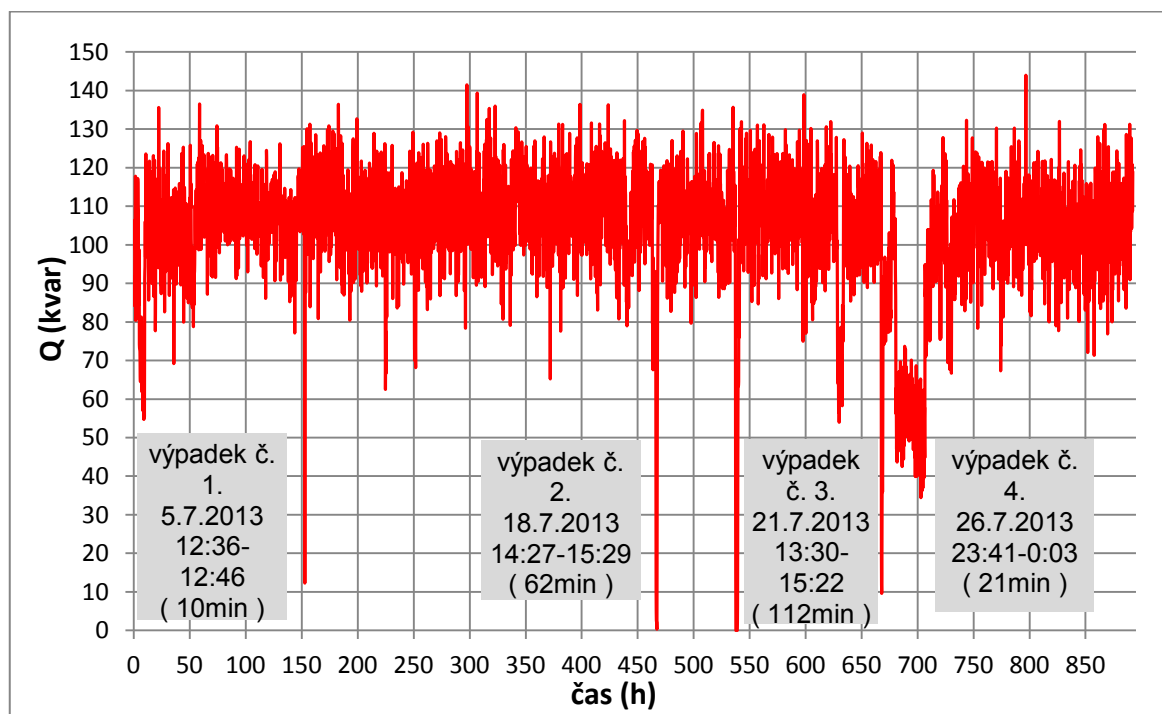
Graf č.5.2 a 5.3 Průběhy celkového činného výkonu všech kogeneračních jednotek dodávaného do sítě po celou dobu měření rozdělených do dvou grafů.

Předchozí grafy č. 2. a 3. zobrazují opět průběh celkového činného výkonu dodávaného do sítě prostřednictvím všech kogeneračních jednotek, ale s tím rozdílem, že naměřené hodnoty jsou rozděleny do dvou časových úseků z důvodu větší přehlednosti. V těchto grafech jsou také opět označeny jednotlivé úplné výpadky dodávky elektrické energie do sítě a také číselně označeny největší poklesy výkonu (1-18). Toto kolísání (poklesy výkonu), které je v grafech jasně zřetelné, se vyznačovalo krátkým i středně dlouhým poklesem o cca 250 až 300 kW z celkového instalovaného výkonu. Celková doba těchto poklesů přitom byla cca 75,55 h, což představuje 8,466 % z celkové doby provozu kogeneračních jednotek.

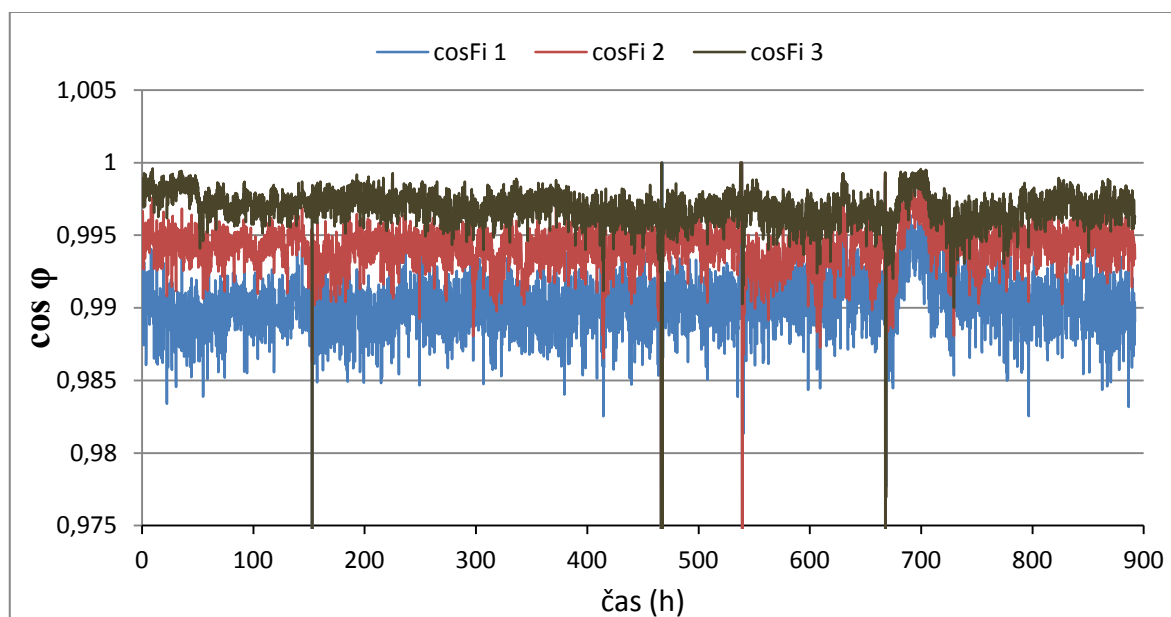
Výše zmiňované kolísání výkonu bylo charakteristické dobou od řádově desítek minut až po několikahodinové poklesy. Tyto poklesy byly nejčastěji zapříčiněny vypnutím jedné nebo rovnou několika kogeneračních jednotek, přičemž nejčastěji docházelo k vypnutí jednotek KGJ1, KGJ2 nebo KGJ4, které disponují jmenovitým elektrickým výkonem o hodnotě 250 kW.

Průběh jalového výkonu dodávaného do sítě je zobrazen na Grafu č. 4 a je vytvořen opět součtem jalových výkonů v jednotlivých fázích ($Q_1 + Q_2 + Q_3$). Jalový výkon kolísal během celého sledovaného období přibližně v rozmezí 40 až 180 kvar. Celkový činný výkon dodávaný všemi kogeneračními jednotkami do sítě se přitom po většinu času pohyboval cca kolem hodnoty 1040 kW.

Výše uvedeným hodnotám následně odpovídají i hodnoty vypočteného účinníku. Pokud nebudeme uvažovat časové úseky, ve kterých došlo k úplným výpadkům v dodávce výkonu, tak hodnota účinníku se pohybovala v rozmezí od 0,984 do 0,999 po celou dobu provozu KGJ.

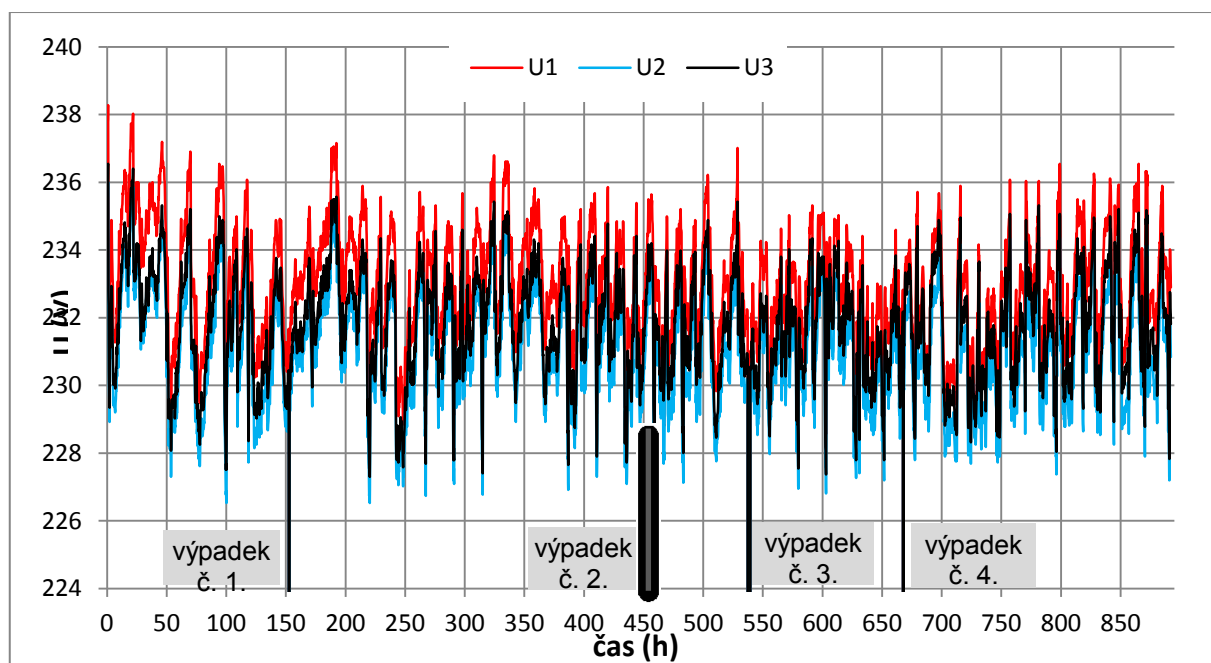


Graf č.5.4.: Průběh dodávky celkového jalového výkonu všech KGJ dodávaného do sítě po celou dobu měření. (vytvořeno z 15-minutových průměrných hodnot)



Graf č.5.5 Průběh účinníku za celou dobu měření. (vytvořeno z 15-minutových průměrných hodnot)

Graf č.4.5. zobrazuje průběhy napětí jednotlivých v fází za celou dobu měření. Z grafu je patrné, že napětí během celé doby měření značně kolísalo. Z hlediska odchylky napájecího napětí (ve všech třech fázích) ovšem nejsou překročeny limity $\pm 10\%$ z $U_n = 230\text{V}$, což odpovídá hodnotám z intervalu 207 - 253 V. To je patrné i z grafu, přičemž napětí se pohybuje v rozmezí cca 227 – 238 V.



Graf č.5.6.: Průběh dodávky napětí jednotlivých fází za celou dobu měření. (vytvořeno z 15- minutových průměrných hodnot)

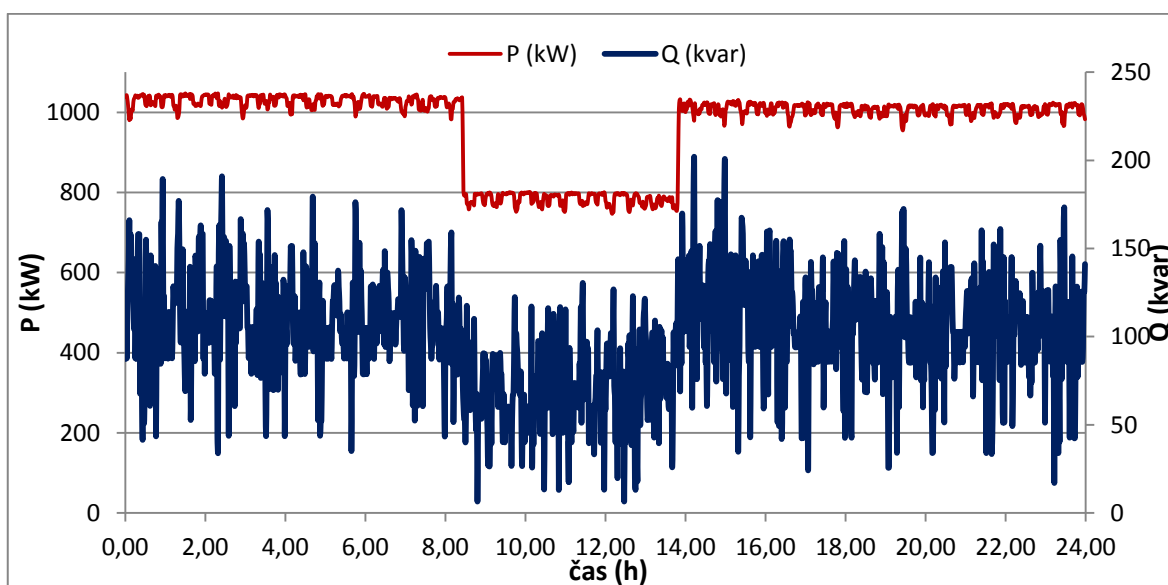
5.3.3.2.2. Průběhy vybraných veličin během výpadku nebo poklesu výkonu KGJ

V následujících grafech a obrázcích budou zobrazeny průběhy a závislosti jednotlivých změřených veličin za účelem posouzení dopadu poklesu, nebo úplného výpadku dodávaného výkonu z KGJ do distribuční sítě (DS). Pro toto posouzení jsem náhodně vybral tři nečastější stavy a to:

- A. pokles dodávaného výkonu z důvodu vypnutí jedné KGJ
- B. úplný výpadek dodávky výkonu
- C. období, kdy dodávaný výkon kolísal ve velkých mezích

A. Analýza vypnutí jedné z KGJ

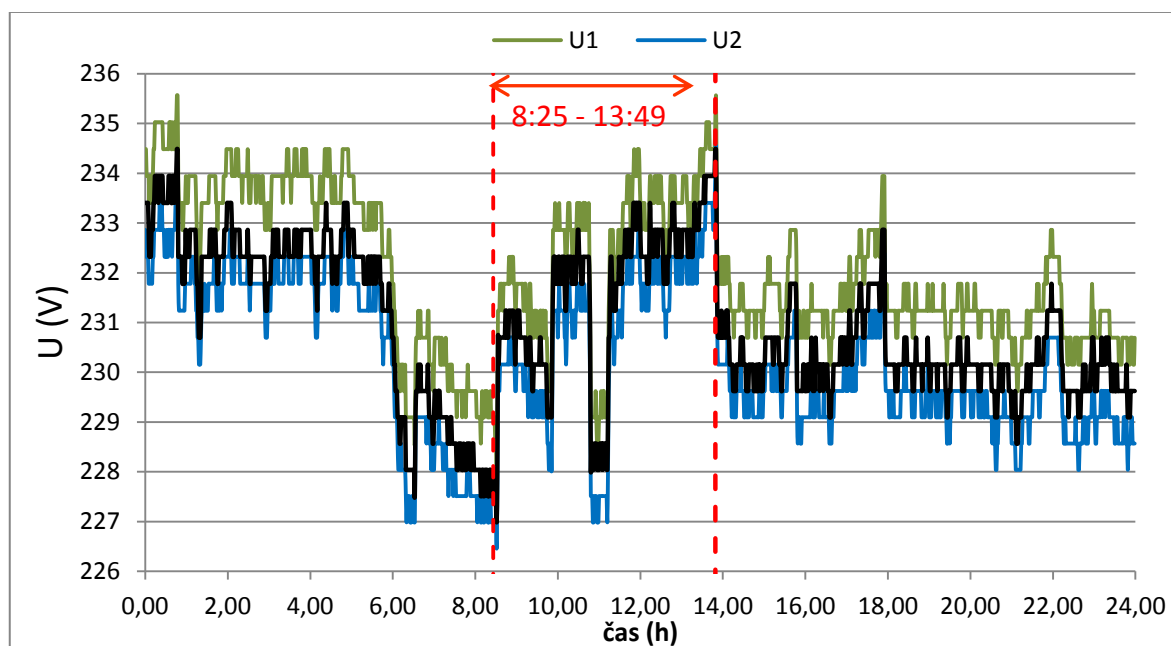
Následující grafy č. 7, 8 a 9, zobrazují průběhy činného výkonu, jalového výkonu, napětí a účinníku změřené během jednoho dne provozu - 25.7.2013. V tento den nastal pokles dodávaného činného výkonu o cca 250 kW a jalového výkonu o cca 25 kvar. Celková doba poklesu výkonu byla od 8:25 do 13:49, tedy 5,4h (324 minut). Příčinou tohoto poklesu bylo vypnutí jedné z KGJ.



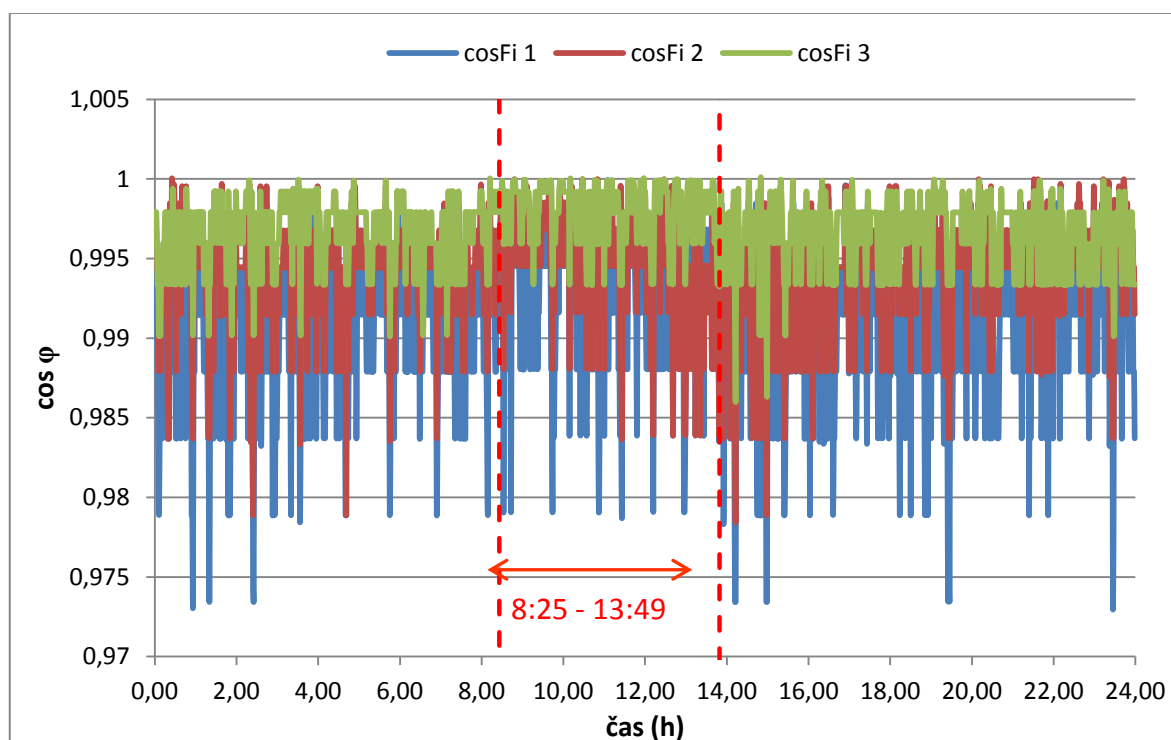
Graf č.5.7 Celkový činný a jalový výkon dodávaný KGJ během dne 25.7.2013

Graf č.5.8 zobrazuje průběh napětí jednotlivých fází dne 25.7.2013. V grafu průběhu je vyznačena doba kdy došlo k odpojení jedné z KGJ. Je zde vidět, že v okamžiku odpojení a opětovného připojení došlo ke skokové změně napětí. Z hlediska odchylky napájecího napětí (ve všech třech fázích) ovšem tyto špičky nepřekračovaly limity $\pm 10\%$ ze jmenovitého napětí sítě $U_n = 230V$.

Graf č.5.9. zobrazuje průběh vypočítaných hodnot účinníku opět pro jednotlivé fáze. Z toho průběhu můžeme pozorovat, že při odpojení jedné z KGJ nedošlo k žádné výrazné změně účinníku. Je to dáno tím, že ostatní KGJ které zůstaly v provozu, pracovali i nadále blízko svého maximálního zatížení, a tedy i v optimálním provozním režimu z hlediska účinníku.



Graf č.5.8 Průběh napětí v jednotlivých fázích během dne 25.7.2013

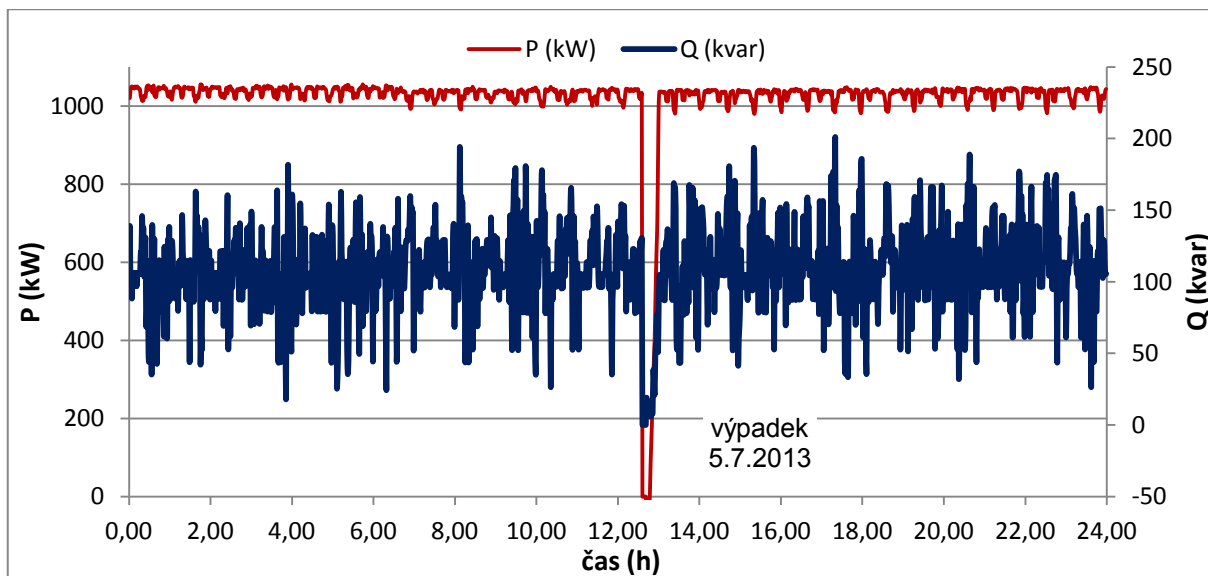


Graf č.5.9 Průběh účinníku v jednotlivých fázích během dne 25.7.2013

B. Analýza vypnutí všech KGJ

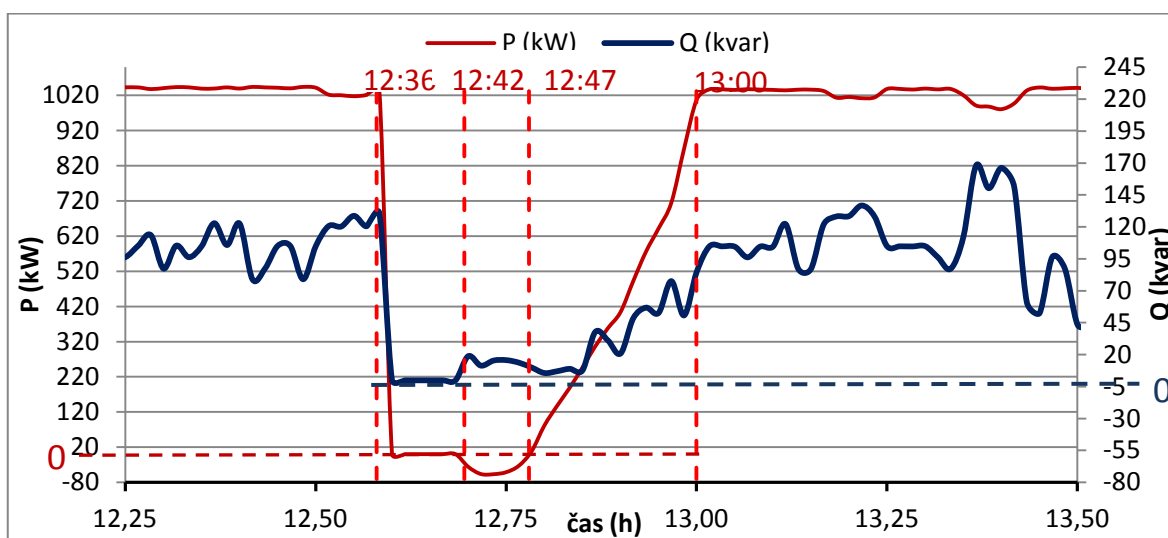
V následujících grafech č. 10 a 11 jsou zobrazeny průběhy a závislosti jednotlivých změřených veličin za účelem posouzení dopadu výpadku dodávky výkonu při vypnutí všech KGJ.

Tyto grafy zobrazují průběhy činného výkonu, jalového výkonu, napětí a účinníku změřené během jednoho dne provozu - 5.7.2013, během kterého nastal úplný 10 minutový výpadek dodávky výkonu do distribuční sítě, s celkovou dobou trvání od 12:36 do 12:46 (10min).



Graf č.5.10 Celkový činný a jalový výkon dodávaný KGJ během dne 25.7.2013

Jak je patrné z grafu výše, tak dodávka činného výkonu i jalového výkonu byla, bez uvažování doby výpadku, během celého dne vyrovnaná, a pohybovala se v hodnotách cca 1030 kW činného výkonu, jalový výkon opět kolísal v rozmezí 30 – 180 kvar.

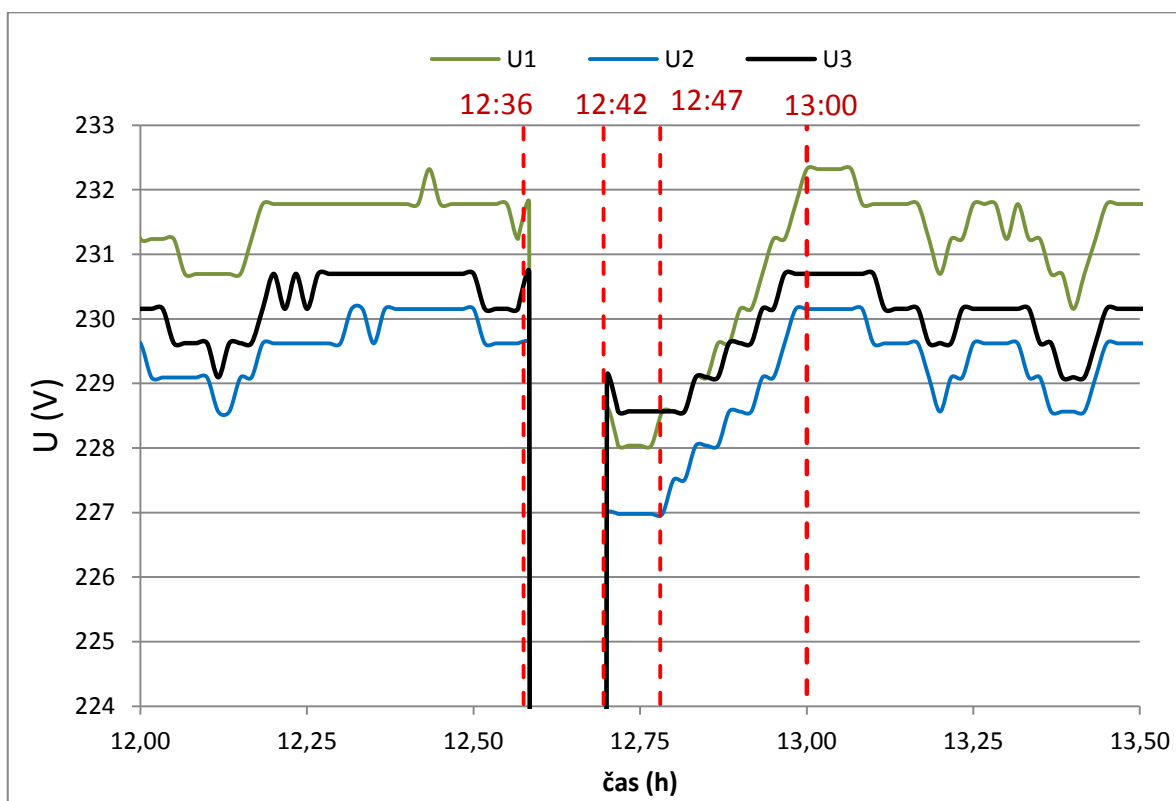


Graf č.5.11 Detail výpadku během dne 25.7.2013

Z grafu č.5.11 je zřejmý celkový průběh jednotlivých výkonů během výpadku. Můžeme zde vidět, že v čase 12:36 došlo k náhlému úplnému výpadku a odpojení KGJ od DS. K opětovnému připojení KGJ k distribuční síti došlo až v čase 12:42. Během doby od 12:36 – 12:42 tedy nebyly změřeny žádné hodnoty. V čase od 12:42 do 12:47 již bylo zařízení BPS opět připojeno k síti, ale KGJ do sítě žádnou energii nedodávaly, naopak odebíraly cca 70kW činného výkonu, který byl využit pro vlastní spotřebu celé BPS. V čase 12:47 došlo k obnovení dodávky výkonu do sítě, přičemž KGJ dosáhly svého plného výkonu až v čase 13:00, tz., zhruba po 13min od obnovení dodávky výkonu do sítě.

Graf č.12 zobrazuje detail průběhu jednotlivých fázových napětí během výpadku provozu KGJ. Z grafu je jasně patrné, že v čase 12:42, kdy došlo k opětovnému připojení, nastal pokles napětí ve všech třech fázích. Tento pokles byl pravděpodobně vyvolán vlastní spotřebou zařízení BPS. Jak už bylo uvedeno výše, tak v čase 12:47 došlo k obnovení dodávky elektrické energie z KGJ do DS a dochází také postupnému nárůstu jednotlivých fázových napětí. Tento nárůst poté končí v čase 13:00 kdy KGJ dosáhly svého plného výkonu.

Z grafu je tedy zřejmé, že při úplném výpadku a následném obnovení dodávky elektrické energie z KGJ, vzniká v DS, do které jsou tyto jednotky připojeny výrazné kolísání napětí, přičemž se toto kolísání projevuje nejčastěji výrazným poklesem napětí v síti. Důsledkem tohoto kolísání může být následně vznik některých z negativních zpětných vlivů zdrojů na DS, mezi které například patří flickr.



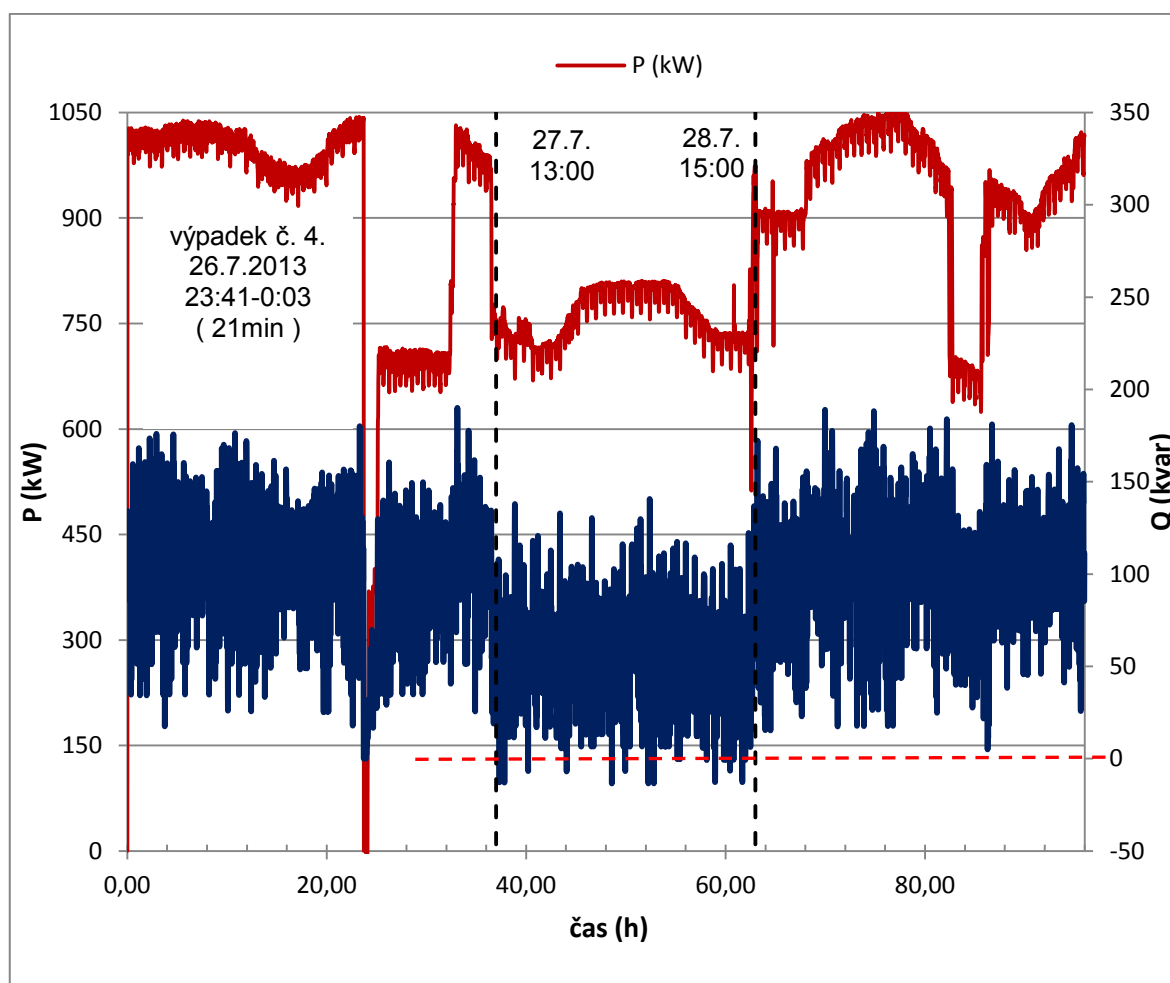
Graf č.5.12 Detail průběhu napětí jednotlivých fází během výpadku dne 25.7.2013

C. Analýza období značného kolísání dodávaného výkonu

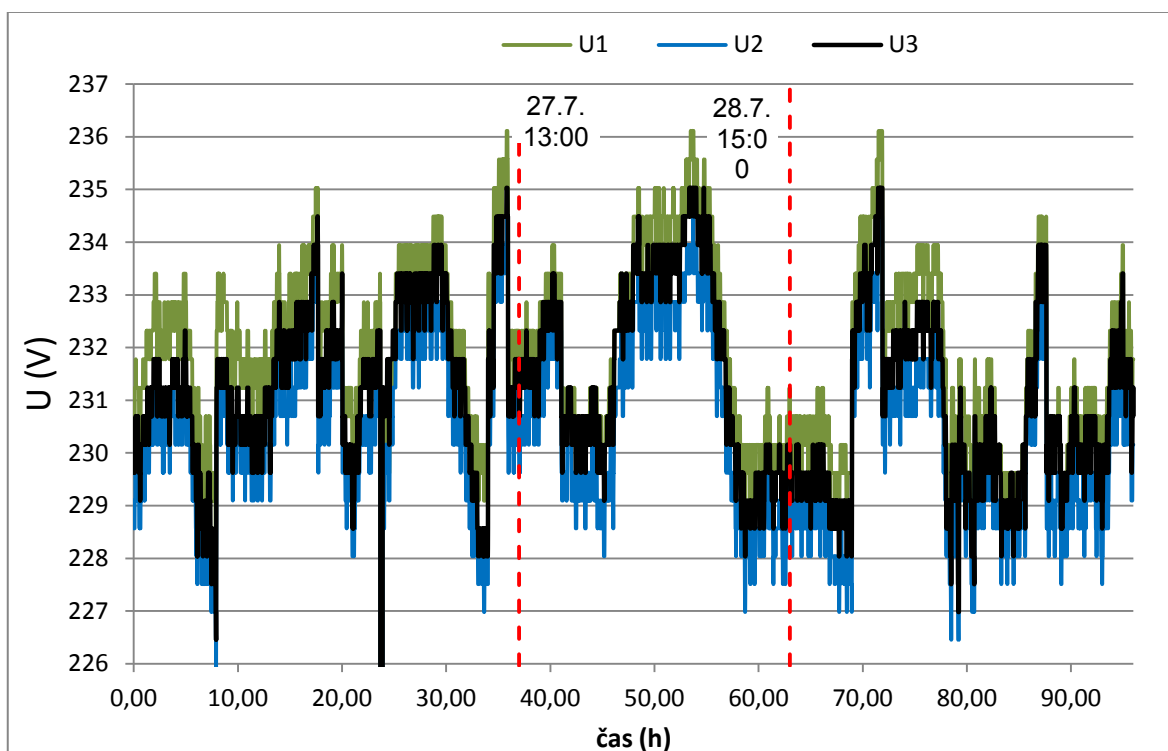
V následujících grafech jsou zobrazeny průběhy a závislosti jednotlivých změřených veličin za účelem posouzení dopadu častého poklesu dodávaného výkonu do DS.

Pro analýzu jsem vybral období mezi dny od 26.7. do 29.7., ve kterém docházelo k častému a značnému kolísání dodávaného výkonu a také v tomto časovém úseku nastal jeden úplný výpadek dodávky energie do DS. Celkový průběh dodávky činného a jalového výkonu je zobrazen v Grafu č.5.13. V tomto grafu je následně vyznačena doba, během které došlo k provoznímu stavu, kdy celkový jalový výkon nabýval záporných hodnot. Jelikož tento stav nastal během celého měření pouze v tomto jednom časovém úseku (pokud nebereme v úvahu dobu, během které KGJ nedodávaly do sítě žádný výkon), tak v několika následujících grafech jsou zobrazeny detaily průběhu výkonů a napětí právě v tomto období.

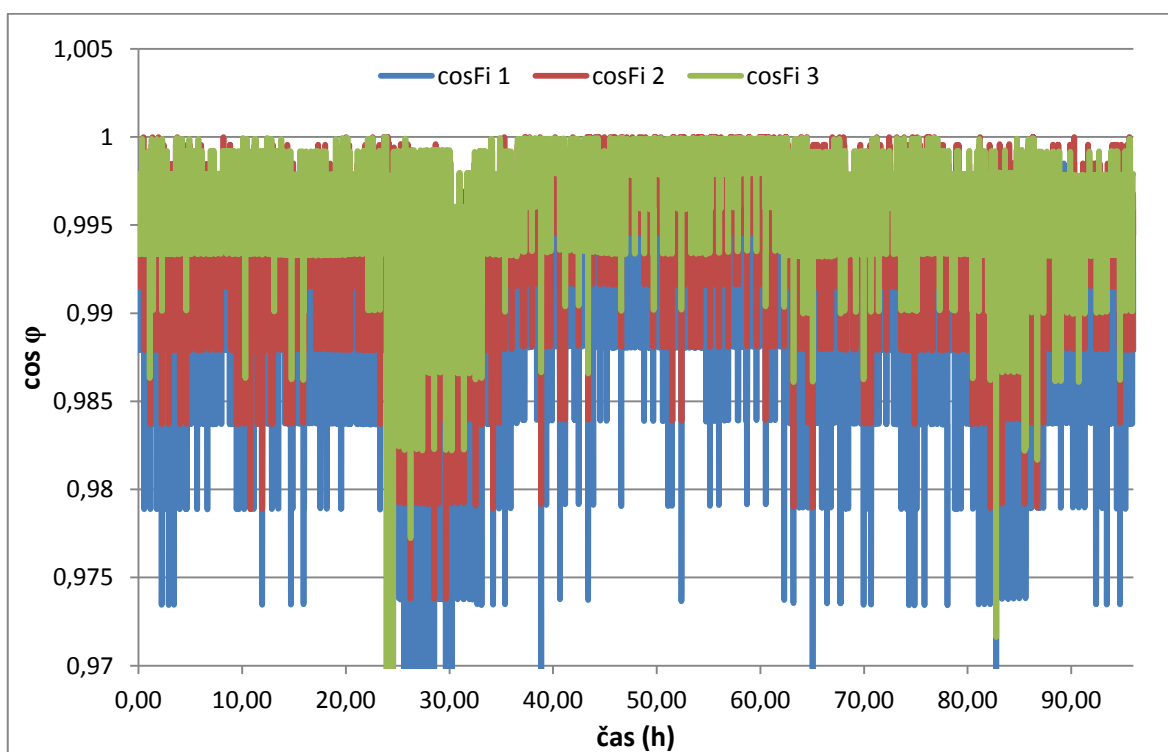
V grafu č.5.14 je zobrazen průběh napětí v jednotlivých fázích mezi dny od 26.7. do 29.7. a je zde opět vyznačen časový úsek, ve kterém jalový výkon nabýval záporných hodnot.



Graf. č.5.13 Celkový činný a jalový výkon dodávaný KGJ v období od 26.7. do 29.7.



Graf. č.5.14 Průběh napětí v jednotlivých fázích v období od 26.7. do 29.7.

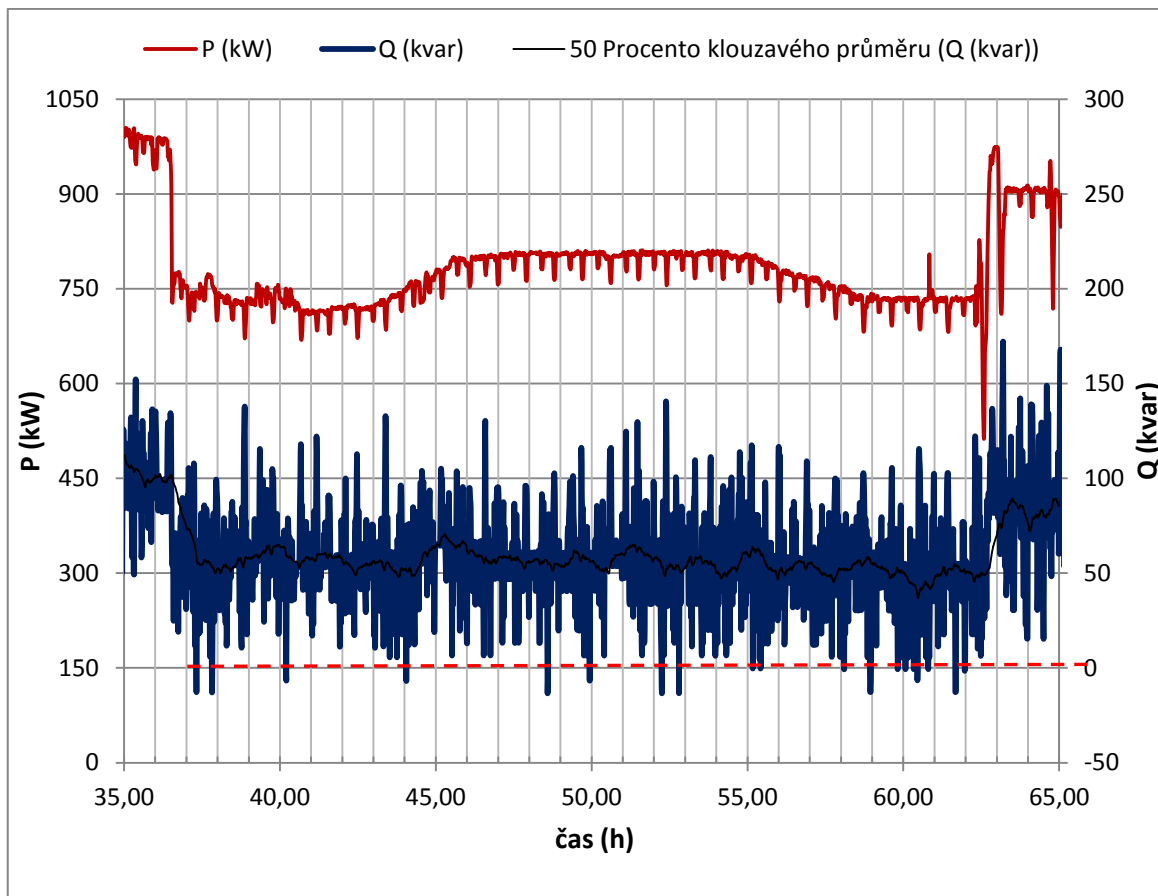


Graf. č.5.15 Průběh vypočítaných hodnot účinníku v jednotlivých fázích v období od 26.7. do 29.7.

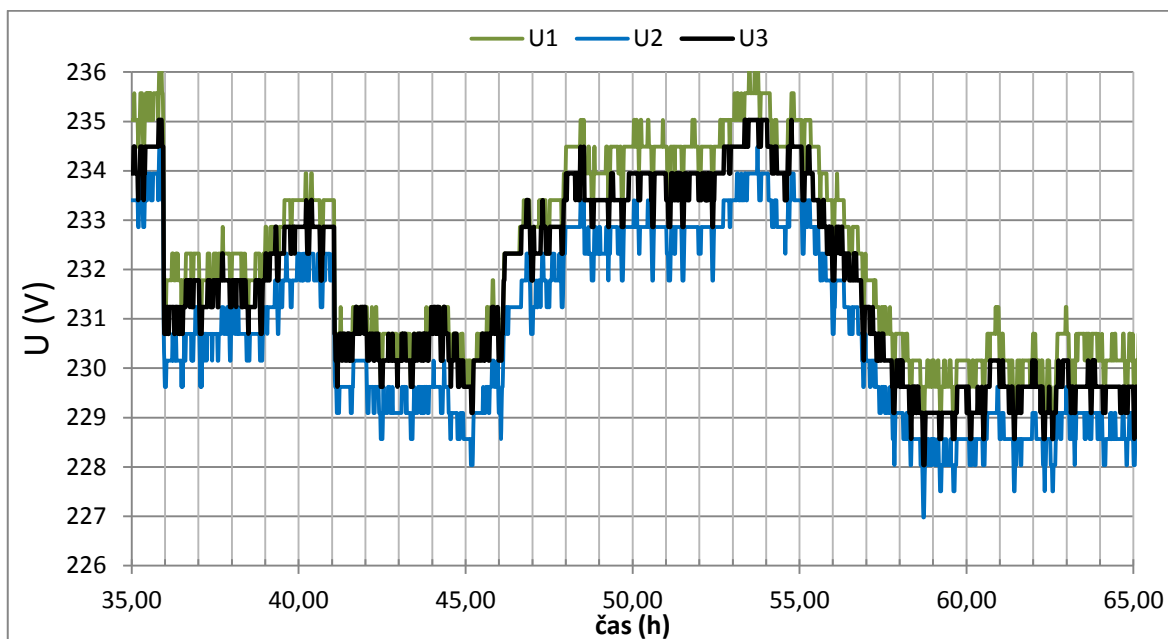
Z průběhu napětí na Grafu č.14 je zřejmé, že již dříve zmiňované značné kolísání dodávaného výkonu mělo za následek i značné špičkové kolísání napětí v síti, které se pohybovalo v rozmezí 237 – 226 V.

V grafech č.16 a 17 je zobrazen průběh jalového a činného výkonu a dále průběh napětí v jednotlivých fázích během časového úseku od 27.7. 11:00 h do 28.7. 17:00h, ve které došlo k provoznímu stavu, kdy celkový jalový výkon nabýval záporných hodnot. Jak je z grafů možné pozorovat, tak tyto překmity jalového výkonu neměly větší vliv na stav napětí v síti, resp. nezpůsobovaly výraznější napěťové špičky. Tyto poklesy jalového výkonu byly nejspíše způsobeny vlastní spotřebou BPS, a mohly je způsobovat např. vkládací zařízení, míchací zařízení atd.

Naopak můžeme pozorovat, že v tomto časovém úseku došlo ke krátkodobému zvýšení pouze dodávky činného výkonu a současně s tím i zvýšení napětí. Nelze ovšem přesně určit, do jaké míry bylo toto zvýšení napětí zapříčiněno právě zvýšenou dodávkou činného výkonu, jelikož síťové napětí je značně závislé i na charakteru a stavu připojených spotřebičů v celé DS.



Graf. č.5.16 Celkový průběh jalového a činného výkonu v čase od 27.7. 11:00 h do 28.7. 17:00h.



Graf. č.5.17 Průběh napětí v jednotlivých fázích v čase od 27.7. 11:00 h do 28.7. 17:00h.

5.3.4. Zhodnocení výsledků měření

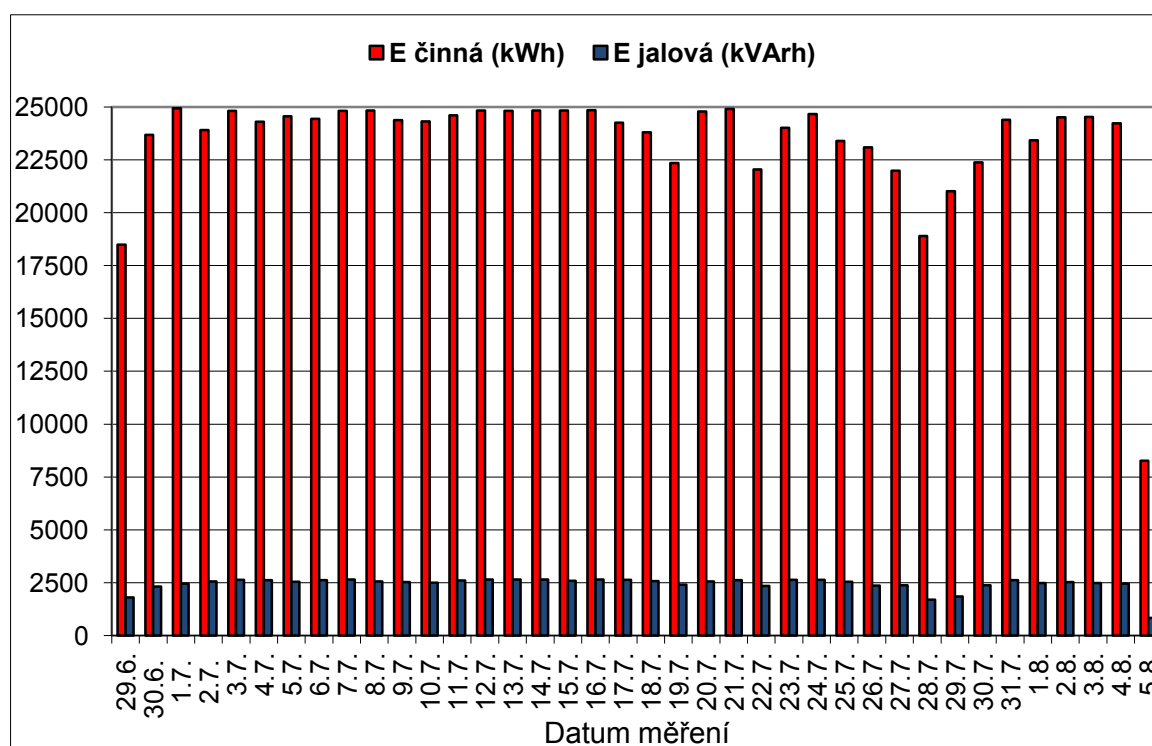
Hlavním cílem analýzy změřených dat na BPS Loděnice, bylo vytvoření ucelené představy o dodávce elektrické energie z BPS, ale také popsat možné důsledky poklesu nebo úplného výpadku dodávky elektrické energie do DS.

V následující tabulce č.5.1. je uveden souhrn výsledků dodávky elektrické energie do DS. Z analýzy časového úseku provozu BPS je zřejmé, že lze tyto zdroje elektrické energie, považovat za stabilní obnovitelné zdroje elektrické energie, u kterých lze do značné míry předpovídat průběh výroby elektrické energie. Tyto zdroje využívají biomasy k získání bioplynu a ten následně v KGJ využijí pro výrobu elektrické energie. BPS s KGJ potom můžeme z hlediska provozu a řízení řadit mezi pružné a dynamické zdroje, které by byly schopné se přizpůsobovat například stochastickým průběhům fotovoltaických a větrných elektráren.

Činná a jalová energie vyrobená KGJ v jednotlivých dnech je zobrazena v Grafu č.5.18 a celkové hodnoty vyrobené energie jsou uvedeny v tabulce č.5.1. Pro první a poslední den, tj 29.6. a 5.8., nebyla k dispozici kompletní data (pouze od 4:09 do 24:00, resp. od 0:00 do 8:31) a z tohoto důvodu je v grafu hodnota vyrobené činné i jalové energie výrazně nižší než v ostatních dnech, během kterých probíhalo měření. V příloze č. I. je také přiložena tabulka, ve které jsou uvedeny hodnoty činné a jalové energie vyrobené v jednotlivých dnech.

Tab. č.5.1 Souhrn výsledků dodávky elektrické energie ze všech KJ po celou dobu měření.

Celková doba	čas (h)	(%)
provozu KGJ	892,383	100
úplných výpadků dodávky elektrické energie do DS	3,45	0,387
poklesu dodávky elektrické energie v důsledku vypnutí jedné KGJ (pokles výkonu o 250 – 300 kW)	75,55	8,466
Průměrné hodnoty dodávaných činných a jalových výkonů do DS	P (kW)	Q (kvar)
během normálního provozu (bez úplných výpadků a vypnutí jedné z KJ)	1040	110
během výpadku jedné z KJ (pokles výkonu o 250-300 kW):	800	75
Celková činná a jalová energie vyrobená KGJ za celou dobu měření (od 29.6. do 5.8.)		
Celková činná energie EP (MWh)	Celková jalová energie EQ (Mvarh)	
889,876	93,046	



Graf č. 5.18.: Činná a jalová energie vyrobená KGJ v jednotlivých dnech

Kolísání dodávaného výkonu po celou dobu měření bylo charakteristické dobou od řádově desítek minut až po několikahodinové poklesy. Tyto poklesy byly nejčastěji zapříčiněny vypnutím jedné nebo rovnou několika kogeneračních jednotek, případně snížením výkonu jednotek.

Nejčastěji přitom docházelo k vypnutí jednotek KGJ1, KGJ2 nebo KGJ4, které disponují jmenovitým elektrickým výkonem o hodnotě 250 kW.

Z výsledků měření je poté zřejmé, že napětí v jednotlivých fázích během celé doby měření kolísalo v rozmezí 10 V. Tyto malé změny napětí, mohly být způsobeny provozem vlastní spotřeby bioplynové stanice, jako je například vkládací zařízení vstupních surovin do fermentorů, míchadla fermentorů, čerpadly atd.. Tyto zařízení mohou být v provozu nepřetržitě, nebo mohou být zapínána pouze na pár minut, ale v pravidelných intervalech (např. 2-3 krát za hodinu). Další možnou příčinou kolísání napětí v síti může být také samotný charakter spotřebičů zapojených do této sítě a také kolísání zatížení sítě.

Z vytvořených grafů je také zřejmé, že na celkový průběh napětí v jednotlivých fázích má zcela jistě také vliv nepravidelná dodávka výkonu z KGJ, přičemž jako nejhorší stav se ukázalo časté kolísání výkonu nebo úplný výpadek dodávky, při kterém vznikaly výrazné napěťové špičky. Toto kolísání výkonu, může být poté příčinou některých negativních zpětných vlivů na DS, které byly popsány v předchozí kapitole této práce.

Po prostudování dostupného provozního deníku, který je veden přímo obsluhou bioplynové stanice, můžeme dospět k závěru, že výše zmíněné poklesy výkonu jsou zapříčiněny několika nejčastějšími příčinami, mezi které patří:

- I. Nedostatečná rychlost tvorby bioplynu – málo plynu pro provoz všech KJ
- II. Nepředvídatelné technické problémy – např. přehřátí hlavy válců KJ, nebo zanesení různých druhů čidel, měřidel a vah
- III. Okolními povětrnostními a klimatickými vlivy – velmi vysoká nebo naopak nízká vnější teplota (např. velká zima měla za následek zamrzání některých potrubí – omezení výroby)
- IV. Plánované technologické prostoje (např. provedení údržby technologie a servisní intervaly)

Nejčastějším problémem v dodávce elektrické energie je právě nedostatek bioplynu, pro provoz všech instalovaných kogeneračních jednotek. Z velké části byl tento problém zapříčiněn zejména nedodržením technologického postupu, při zpracovávání a vkládání fermentovaného materiálu. Jako příklad můžeme uvést to, že ve zpracovávaném materiálu například prasečí kejďe, byly nežádoucí předměty nebo lana, resp. příčinou bylo špatné složení vstupního materiálu.

Problém s dočasným poklesem tvorby bioplynu a tedy nedostatečným množstvím plynu pro pohon všech čtyř kogeneračních jednotek by teoreticky šlo vyřešit instalací plynového zásobníku resp. plynojemu. V tomto plynojemu by bylo množství plynu, které by bylo schopné nahradit chybějící dodávku bioplynu pro provoz jedné kogenerační jednotky řadově po dobu např. 6 hodin. Tím by došlo k výraznému omezení množství krátkodobých poklesů dodávky elektrické energie. Problémem by ovšem mohlo naopak být dočasné navýšení tvorby bioplynu ve fermentorech a dofermentoru pro vytvoření dostatečné zásoby bioplynu v plynojemu.

Závěr

Tato diplomová práce má za úkol seznámit čtenáře s problematikou biomasy, bioplynových stanic, kogenerace a využitím akumulované energie v biomase. V teoretických kapitolách jsem proto tedy podrobně popsal a vysvětlil princip zpracování biomasy a následnou výrobu bioplynu. Dále jsem popsal a vysvětlil, co znamená pojem kogenerace, kogenerační jednotka a také možnosti jejich řízení. Zásadním přínosem kogenerace je přitom vyšší účinnost procesu kombinované výroby elektrické energie a tepla, oproti oddělené výrobě elektrické energie v elektrárnách a tepla ve výtopnách, což vede k nižší spotřebě paliva, nižšímu čerpání neobnovitelných zdrojů energie a nižším emisím znečišťujících látek do ovzduší na regionální i globální úrovni. Blíže jsem se zaměřil na kogenerační jednotky se spalovacími pístovými plynovými motory, které jsou v současnosti v BPS nejpoužívanější.

Součástí této práce je i popis vlivu proměnlivé dodávky výkonu z některých obnovitelných zdrojů energie. Popsal jsem zde proto různé vlivy OZE na síť, které jsou způsobeny připojením těchto jednotek do distribuční sítě, a také charakterizoval jednotlivé vlivy těchto OZE na kvalitu elektrické energie.

V praktické části této práce byl proveden popis bioplynové stanice Loděnice, a současně také provedeno zpracování a vyhodnocení naměřených dat. Z naměřených dat, resp. z průběhů vytvořených z těchto dat, je poté možné konstatovat, že tato bioplynová stanice je stabilním a do značné míry také předvídatelným zdrojem elektrické energie, protože celková doba úplných výpadků dodávky elektrické energie byla 3,45h což představuje 0,387% z celkové měřené doby provozu. Z průběhů je také jasně patrné, že v průběhu provozu všech KGJ docházelo k nepravidelným poklesům dodávaného výkonu. Tyto poklesy mohou mít poté negativní zpětný vliv na provoz DS do které je BPS připojena. Při poklesu a následném navýšení výkonu došlo téměř vždy k vytvoření napěťových špiček, které ovšem svou velikostí nepřesahovaly dovolené meze odchylky od jmenovitého napětí. Zejména časté kolísání výkonu, může mít potom za následek značné kolísání napětí v síti a vznik flikru. Pokud ovšem BPS pracuje ve stabilním provozu, při kterém nedochází ke značným výkyvům v dodávce elektrické energie, tak můžeme předpokládat, že BPS není zdrojem dalších negativních vlivů na síť, mezi které můžeme řadit například harmonická zkreslení a rušení. Je to dáno tím, že v současných KGJ je obvykle použito generátorů moderní konstrukce, které splňují požadavky norem a také proto, že rozvaděč KGJ neobsahuje žádné obvody s velkými nízkofrekvenčními nebo vysokofrekvenčními signály, střídače, impulsní zdroje ani jiná zařízení, která by mohla zavést rušení do veřejné sítě.

BPS s KGJ potom můžeme z hlediska provozu a řízení zařadit mezi pružné a dynamické zdroje energie, které by byly schopné se přizpůsobovat například stochastickým průběhům fotovoltaických a větrných elektráren, nebo využít tyto zdroje pro regulaci výkonu a poskytování podpůrných služeb v DS. Velkou nevýhodou ovšem je, že současné době nejsou BPS připraveny k tomuto způsobu využití, neboť nedisponují jednak dostatečnými kapacitami pro skladování bioplynu, tak rezervami ve výkonu motorů KGJ.

Seznam použité literatury

- [1] BENDA, Vítězslav. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
- [2] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: Profi Press, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [3] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 106 s. Stavíme. ISBN 978-80-251-2916-6.
- [4] JAKUBES, J.; BELLINGOVÁ, H.; ŠVÁB, M.: Moderní využití *biomasy technologické a logistické možnosti* [online]. Česká energetická agentura, 2006, 66 s. [cit. 2013-11-13]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>
- [5] Janíček, F., a kol., : *Obnovitelné zdroje energie 1 a 2*, Bratislava, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, 2010, 2009. ISBN 978-80-969777-0-3
- [6] Sborník referátů EPE 2013, VŠB Ostrava 2013
- [7] Sborník referátů: Mezinárodní konference PODLESICE 2013 Polsko.
- [8] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha, ČESKÁ REPUBLIKA: BEN - Technická literatura, 2012. ISBN 978-80-7300-312-8.
- [9] KRBK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz*. Praha, Česká republika: GAS, 2007. 1. vydání. ISBN 978-80-7328-151-9 (brož.).
- [10] FRERIS, L a D INFELD. *Renewable energy in power systems*. Chichester, U.K.: John Wiley, 2008, xiv, 284 p. ISBN 978-047-0017-494.
- [11] MIŠÁK, Stanislav a Lukáš PROKOP. VŠB-TOU, FEI, Katedra elektroenergetiky. *Predikce výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů* [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43320.pdf>
- [12] BIOM.cz., *Bioplynové stanice*, [online]. [cit. 2013-12-15]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/bioplynove-stanice>
- [13] ČEPS, A.S. *Dopady provozu větrných a fotovoltaických elektráren na elektrizační soustavu*. In: [online]. [cit. 2013-12-15]. Dostupné z: [Http://www.enviweb.cz/clanek/fotovolt/81306/dopady-provozu-vetrnych-a-fotovoltackych-elektren-na-elektrizacni-soustavu](http://www.enviweb.cz/clanek/fotovolt/81306/dopady-provozu-vetrnych-a-fotovoltackych-elektren-na-elektrizacni-soustavu)

- [14] BIOM.cz., *Teoretická výtežnost surovin*. In: [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/obrazek/obr-teoreticka-vyteznost-surovin>
- [15] KÁCL, František. *Rozptýlená výroba a její vliv na distribuční síť*. Brno, 2009. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14818. Diplomová práce. VUT v BRNĚ. Vedoucí práce Ing. Petr Mastný, Ph.D.
- [16] Elektrárny ČEZ spalující biomasu. In: [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/biomasa/elektrarny-cez-spalujici-biomasu.html>
- [17] Biomasa.ČEZ [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/fulltext/cs/vyhledavani/ww3-cs?query=biomasa&lang=cs>
- [18] Vývoj výstavby BPS v ČR od roku 2005. [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/259431/Vyvoj_vystavby_BPS_od_roku_2005.pdf
- [19] ČESKÉ SDRUŽENÍ PRO BIOMASU - CZ BIOM. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. [online]. 2009 [cit. 2014-02-02]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce_vyrobou_vyuzitim_bioplynu_2.pdf
- [20] Bilance elektrické energie za 1. pololetí 2013. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2013. vyd. [cit. 2014-03-02]. Dostupné z: <http://download.mpo.cz/get/49112/55335/603315/priloha001.pdf>
- [21] KOUDELKA, Ctirad. *Kogenerační jednotky*. Únor 2004. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/kogeneracni_jednotky.pdf
- [22] Matějka, J., Štambaský, J., *Optimalizace a regulace OZE* [online]: <http://www.czba.cz/projekty/optimalizace-a-regulace-oze.html>.
- [23] *Povinnost vybavit BPS dispečerským řízením* [online, cit. 2014-2-15]: <http://www.czba.cz/aktuality/povinnost-vybavit-bps-dispecerskym-rozenim.html>
- [24] RAEN, SPOL. S.R.O. a ČEA. *Návrh a provoz KGJ*. [online]. s. 46 [cit. 2014-02-21]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/008153.pdf>
- [25] TEDOM. *Dálkový monitoring KGJ* [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/>
- [26] ODDĚLENÍ STATISTIK ERÚ. *Roční zpráva o provozu ES ČR 2012*. In: [online]. Praha, 2013 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2012.pdf/4fdde065-9e59-442f-ba17-74651ff68625

- [27] Česká bioplynová asociace: CzBA. [online]. [cit. 2014-03-27]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/>
- [28] LAŠTŮVKA, Martin. Podpora OZE v roce 2014. In: *ERÚ* [online]. 2013 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://czbiom.cz/konf/files/La%C5%A1t%C5%AFvka.pdf>
- [29] MAREŠ, Jan, Martin LIBRA a Vladislav POULEK. *Akumulace elektrické energie*. In: *Elektro* [online]. 2/2011 [cit. 2014-03-27]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42869.pdf>

Seznam obrázků

<i>Obr. č.2.1 Schéma procesu fotosyntézy [2]</i>	<i>2</i>
<i>Obr. č.2.2 Příklady různých druhů biomasy [10]</i>	<i>3</i>
<i>Obr. č.2.3 Technologické schéma pyrolýzy biomasy. [2]</i>	<i>11</i>
<i>Obr. č. 2.4 Teoretická výtěžnost bioplynu z různých surovin [14].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. č.2.5 Příklad bioplynové stanice – Willingshausen / Hesensko [11].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. č. 2.6 Příklad konstrukce a provedení fermentorů [1,7]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. č.2.7 Příklady různého provedení zásobníků na bioplyn (plynojemů)[1,8].....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. č.2.8 Zařízení pro úpravu bioplynu v BPS Loděnice</i>	<i>19</i>
<i>Obr. č.2.9 Pohled do nádrže s mokrým digestátem [10], Bezpečnostní fléra umístěná v BPS Loděnice</i>	<i>20</i>
<i>Obr. č.2.10 Zjednodušený princip získávání skládkového bioplynu [10]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. č.3.1 Příklad modulového provedení kogenerační jednotky.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. č.3.2 Toky energií u kogenerační jednotky se spalovacím.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. č.3.3 Příklad provedení plynového spalovacího motoru připojeného k el. generátoru [12]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. č.3.4.: Ovládací panel jedné z kogeneračních jednotek v BPS Loděnice</i>	<i>30</i>
<i>Obr. č.4.1.: Vývoj výroby elektrické energie z OZE a její podíl na domácí hrubé spotřebě [26].....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. č.5.1 Vývoj výstavby bioplynových stanic v ČR [18]</i>	<i>39</i>
<i>Obr. č.5.2 Rozmístění bioplynových stanic v ČR [19]</i>	<i>40</i>
<i>Obr. č.5.3 Kogenerační jednotky : 2 x 250 kWe</i>	<i>45</i>
<i>Obr. č.5.4 Umístění a zapojení přístroje MDS-U v rozvaděči RH1</i>	<i>46</i>

Seznam grafů

<i>Graf č.5.1.: Průběh celkového činného výkonu všech kogeneračních jednotek dodávaného do sítě po celou dobu měření. (vytvořeno z 15-minutových průměrných hodnot)</i>	<i>47</i>
<i>Graf č.5.2 a 5.3 Průběhy celkového činného výkonu všech kogeneračních jednotek dodávaného do sítě po celou dobu měření rozdělených do dvou grafů.</i>	<i>48</i>
<i>Graf č.5.4.: Průběh dodávky celkového jalového výkonu všech KGJ dodávaného do sítě po celou dobu měření. (vytvořeno z 15-minutových průměrných hodnot).....</i>	<i>49</i>
<i>Graf č.5.5 Průběh účinníku za celou dobu měření.....</i>	<i>50</i>
<i>Graf č.5.6.: Průběh dodávky napětí jednotlivých fází za celou dobu měření.....</i>	<i>50</i>
<i>Graf č.5.7 Celkový činný a jalový výkon dodávaný KGJ během dne 25.7.2013</i>	<i>51</i>
<i>Graf č.5.8 Průběh napětí v jednotlivých fázích během dne 25.7.2013.....</i>	<i>52</i>
<i>Graf č.5.9 Průběh účinníku v jednotlivých fázích během dne 25.7.2013</i>	<i>52</i>
<i>Graf č.5.10 Celkový činný a jalový výkon dodávaný KGJ během dne 25.7.2013.....</i>	<i>53</i>
<i>Graf č.5.11 Detail výpadku během dne 25.7.2013</i>	<i>53</i>
<i>Graf č.5.12 Detail průběhu napětí jednotlivých fází během výpadku dne 25.7.2013</i>	<i>54</i>
<i>Graf. č.5.13 Celkový činný a jalový výkon dodávaný KGJ v období od 26.7. do 29.7.</i>	<i>55</i>
<i>Graf. č.5.14 Průběh napětí v jednotlivých fázích v období od 26.7. do 29.7.</i>	<i>56</i>
<i>Graf. č.5.15 Průběh vypočítaných hodnot účinníku v jednotlivých fázích v období od 26.7. do 29.7.....</i>	<i>56</i>
<i>Graf. č.5.16 Celkový průběh jalového a činného výkonu v čase od 27.7. 11:00 h do 28.7. 17:00h.</i>	<i>57</i>
<i>Graf. č.5.17 Průběh napětí v jednotlivých fázích v čase od 27.7. 11:00 h do 28.7. 17:00h.</i>	<i>58</i>
<i>Graf č. 5.18.: Činná a jalová energie vyrobená KGJ v jednotlivých dnech</i>	<i>59</i>

Seznam tabulek

<i>Tab. č.2.1 Způsob využití biomasy k energetickým účelům [1].....</i>	<i>7</i>
<i>Tab. č.5.1 Souhrn výsledků dodávky el.energie ze všech KGJ po celou dobu měření.</i>	<i>59</i>

Seznam příloh

Všechny přílohy jsou provedeny jako tištěné a jsou vloženy do kapsy na zadní straně DP. Dále jsou také uloženy v elektronické podobě na přiloženém CD- ROM disku, který obsahuje dvě složky. První složka „Diplomová práce“, obsahuje vypracovanou diplomovou práci v elektronické podobě, ve formátu Adobe Acrobat PDF a druhá složka obsahuje přílohy.

Příloha č. I. – Činná a jalová energie vyrobená KGJ v jednotlivých dnech

Příloha č. II. - Přehledové jednopólové schéma BPS Loděnice